

UNDERSÖKNING

AV

TENN-SILVERLEGERINGARNAS ELEKTRISKA EGENSKAPER

TERMoeLEKTRISK KRAFT OCH LEDNINGSMOTSTÅNDETS
TEMPERATURKOEFFICIENT

AKADEMISK AVHANDLING

SOM MED VEDERBÖRLIGT TILLSTÅND FÖR VINNANDE AV FILOSOFISK DOKTORSGRAD
TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES Å FYSISKA LÄROSALEN
TISDAGEN DEN 14 DECEMBER 1909 KL. 10 F. M.



AV

EDVARD BJÖRNSSON

PHIL. LIC., Mm.
ASSISTENT VID FYSISKA INSTITUTIONEN.

LUND 1909
HÅKAN OHLSSONS BOKTRYCKERI



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553402_0013

UNDERSÖKNING

AV

TENN-SILVERLEGERINGARNAS ELEKTRISKA EGENSKAPER

TERMoeLEKTRISK KRAFT OCH LEDNINGSMOTSTÅNDETS
TEMPERATURKOEFFICIENT

AV

EDVARD BJÖRNSSON



LUND 1909
HÅKAN OHLSSONS BOKTRYCKERI

INNEHÅLLSFORTECKNING.

<i>Inledning</i>	1
<i>Undersökningsmetoder:</i>	
I. Metod att mäta små elektromotoriska krafter	4
II. Temperaturbestämning	14
III. Termoelement	15
IV. Metod att mäta ledningsmotståndets temperaturkoefficient.....	18
<i>Inverkan av mekanisk och termisk förbehandling på silvrets elektriska egenskaper.....</i>	23
<i>Tenn-silverlegeringar:</i>	
Framställning och mekaniska egenskaper	32
Analys	34
Tabeller	35
Diskussion av resultaten.....	45

Rättelse:

I formel 2 sid. 16 bör q ersättas med $q \cdot 10^{-2}$.

Inledning.

Äldre undersökningar av fysikaliska konstanter för metallegeringar äro med få undantag knappast användbara för mera ingående teoretiska undersökningar, ofta på grund av ofullkomliga mätningmetoder och instrument, men framför allt därför att kännedomen om legeringarnas kemiska konstitution till för kort tid sedan varit så ringa, att man saknat ledande synpunkter för systematiskt arbete på detta område.

Sedan den termiska och mikroskopiska analysen av de flesta binära legeringar nu blivit genomförd, huvudsakligen av Tammann och hans lärjungar, har man emellertid i detta avseende fått ökade möjligheter. Systematiska mätningar av legeringarnas fysikaliska egenskaper synas å ena sidan kunna lämna viktiga hjälpmedel till utredandet av sådana konstitutionsfrågor, vilka ej kunna med den termiska analysen enbart lösas, och å andra sidan bör man genom studiet av legeringar kunna få betydelsefulla bidrag till kännedomen om metallernas fysik. Särskilt för lösningen av frågan om det inre förloppet vid elektricitetens ledning genom fasta kroppar synas dylika undersökningar vara av värde. Då det enligt Wiedemann-Franz's lag tyckes finnas ett nära sammanhang mellan metallernas termiska och elektriska egenskaper, ligger det nära till hands att börja med en undersökning av sådana egenskaper, vid vilka detta sammanhang kan väntas framträda, och detta så mycket mera som tekniken beträffande dylika mätningar redan nått en tämligen hög grad av fullkomning.

På härvarande Fysiska Institution har jag för tenn-silverlegeringar uppmätt dels den termoelektriska kraften, dels det elektriska ledningsmotståndets ändring med temperaturen. Tidigare mätningar av dessa storheter föreligga icke, om man undantager Matthiessen och Vogts ¹⁾ bestämning av ledningsmotståndets temperaturkoefficient för två legeringar med resp. 3,48 och 24,49 vol.-% silver. Enligt avvalningsmetoden hava dessa legeringar undersökts av Heycock och Neville ²⁾ samt mera ingående av Petrenko ³⁾. Deras elektrokemiska egenskaper hava studerats av

¹⁾ MATTHIESSEN u. VOGT: Pogg. Ann. 122, 30 (1864).

²⁾ HEYCOCK a. NEVILLE: Phil. Trans. A. 189, 58 (1897).

³⁾ PETRENKO: Zschr. f. anorg. Ch. 53, 200 (1907).

Herschkowitsch ¹⁾ och senare av Puschin ²⁾, som därvid delvis kommit till ett annat, mera sannolikt resultat än Herschcowitsch. Slutligen har Matthiessen ³⁾ bestämt deras specifika vikt, och dennes värden hava teoretiskt bearbetats av Maey ⁴⁾. För resultaten av Petrenkos, Puschins och Maeys arbeten skall redogöras i sammanhang med diskussionen av mina egna mätningar.

Termoelektriska mätningar för fullständiga legeringsserier finnas endast sparsamt: Englisch ⁵⁾ har undersökt Cu—Ni-legeringarna, Reichardt ⁶⁾ Cu—Co-legeringarna, Pinczower ⁷⁾ Cu—Zn-legeringarna, Pécheux ⁸⁾ åtskilliga Al-legeringar, Coos ⁹⁾ Sn—Sb-legeringarna samt Spadavecchia ¹⁰⁾, i sammanhang med en undersökning av det magnetiska fältets inverkan på termoelektriska krafter, Bi—Sn-legeringarna. Av dessa hava endast de fyra först nämnda diskuterat sammanhanget mellan den termoelektriska krafter och den kemiska konstitutionen. För termoelektriska arbeten i allmänhet kan beträffande litteratur hänvisas till Chwolson ¹¹⁾.

Med avseende på ledningsmotståndets temperaturkoefficient är det endast vissa tekniskt brukbara legeringar, vilka varit föremål för undersökningar, såsom mässing, binära legeringar mellan koppar, silver och guld, de till motståndstråd använda mangan- och nickel-legeringarna samt slutligen de termometriskt betydelsefulla platinallegeringarna. I Guertlers ¹²⁾ arbete: »Über die elektrische Leitfähigkeit der Legierungen. II. Der Zusammenhang zwischen der Konstitution und dem Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit» finnes för legeringar en fullständig litteraturförteckning, vilken sträcker sig till slutet av år 1906. Sedan Guertlers arbete publicerades, har Stepanow ¹³⁾ undersökt ledningsmotståndet och dess temperaturkoefficient för Pb—Mg-legeringar.

Slutligen bör här nämnas, att Puschin och Maksimenko ¹⁴⁾ helt nyligen offentliggjort en undersökning av ledningsmotståndet, dettas temperaturkoefficient samt termoelektriska krafter för Zn—Ag-legeringarna. Detta arbete har emellertid varit för mig tillgängligt endast i form av ett referat i Chem. Zentralblatt.

För nästan alla rena metaller och ännu mera för legeringar visa sig samtliga fysikaliska egenskaper vara beroende icke blott av den kemiska sammansättningen, utan också av den mekaniska och termiska behandling, för vilken de varit utsatta.

¹⁾ HERCHKOWITSCH: Zschr. f. physik. Ch. 27, 123 (1898).

²⁾ PUSCHIN: [Journ. Russ. chem. Ges. 1907.] Zschr. f. anorg. Ch. 56, 1 (1908).

³⁾ MATTHIESSEN: Pogg. Ann. 110, 30 (1860).

⁴⁾ MAEY: Zschr. f. physik. Ch. 38, 292 (1901).

⁵⁾ ENGLISCH: Wied. Ann. N. F. 50, 88 (1893).

⁶⁾ REICHARDT: Ann. d. Ph. (4) 6, 832 (1901).

⁷⁾ PINCZOWER: Mitt. d. physik. Ges. Zürich 1, 24 (1901).

⁸⁾ PÉCHEUX: C. R. 139, 1202 (1904).

⁹⁾ COOS: Unders. af Termoel. kr., Disp. Lund 1907.

¹⁰⁾ SPADAVECCHIA: Il nuovo Cimento (4) 9, 432 (1899).

¹¹⁾ CHWOLSSON: Lehrb. d. Phys. IV:1, 741. Braunschweig 1908.

¹²⁾ GUERTLER: Zschr. f. anorg. Ch. 54, 58 (1907).

¹³⁾ STEPANOW: Zschr. f. anorg. Ch. 60, 209 (1908).

¹⁴⁾ PUSCHIN u. MAKSIMENKO: [Journ. Russ. Phys.-Chem. Ges. 41, 500] Chem. Zentralblatt 1909, bd 2, 1 sept.

Vid mätning av här ifrågakommande elektriska storheter har det i samtliga nu uppräknade arbeten, möjligen med undantag av det sistnämnda, ägnats antingen en mycket flyktig eller alls ingen uppmärksamhet åt denna omständighet. Detta gör, att de i dem förekommande talvärdena i regel endast kunna användas för inbördes jämförelse, åtminstone i de fall där ej mera än en egenskap undersökts på samma material. Då silver hör till de metaller, vilka visa dylik efterverkan i hög grad, har jag ansett det nödvändigt att utföra en särskild undersökning härå.

För legeringarna har jag tagit hänsyn till detta förhållande på det sättet, att jag, då det varit möjligt, utfört mätningar på material med så olika mekanisk och termisk förhistoria som möjligt i syfte att på detta sätt få gränsvärden för de storheter, jag uppmätt.

För min undersökning har jag valt tenn-silverlegeringarna dels därför, att det inom denna serie förekommer enkla exempel på de olika typerna av legeringar: mekaniska blandningar, kemiska föreningar och fasta lösningar, dels därför att jag ansåg mig kunna vänta, att de skulle visa sig lätta att skydda mot oxidation samt vara lätta att mekaniskt bearbeta. I detta sistnämnda avseende hava mina förhoppningar emellertid icke visat sig välgrundade, och det är av denna anledning, som jag uppgivit min ursprungliga föresats att mäta även deras specifika ledningsmotstånd.

Som Guertler visat och Stepanow samt Puschin och Maksimenko senare bekräftat, råder emellertid för alla hittills undersökta legeringar en väl utpräglad analogi emellan specifika ledningsmotståndet och dess temperaturkoefficient, varför man ur värdena på den senare kan draga slutsatser beträffande det förra.

Många mätningar av här ifrågavarande slag särskilt beträffande det elektriska ledningsmotståndet äro utförda för ett enda temperaturintervall, ofta godtyckligt valt. Då å ena sidan detta omöjliggör jämförelse mellan olika författares talvärden och å andra sidan en undersökning vid olika intervall synts mig kunna i och för sig giva resultat av intresse, har jag med få undantag undersökt termoelektriska kraften för tre temperaturintervall 0—50, 0—100 och 0—150° C. samt ledningsmotståndet vid temperaturerna 0, 50, 100 och 150° C.

Undersökningsmetoder.

I. Metod att mäta små elektromotoriska krafter.

Vid uppmätning av termoelektriska krafter är det, fränsett felkällorna, temperaturbestämningen, som vållar de största svårigheterna. Antager man, att det är möjligt att hålla temperaturen hos lödställena konstant och uppmäta densamma med en relativ noggrannhet av $0,05^{\circ}$ C., betyder detta för ett temperaturintervall av 100° C. en noggrannhet av $0,1\%$. För högre temperaturintervall blir den relativa noggrannheten näppeligen större, då svårigheten att tillförlitligt mäta temperaturen växer mycket snabbt ju högre man kommer. De elektriska mätningarna böra därför drivas till en noggrannhet av minst $0,05\%$ under förutsättning, att den termoelektriska kraft, som skall mätas, är så väl definierad, att denna grad av noggrannhet har något ändamål. Vid mina mätningar av termoelektriska krafter har jag använt en modifierad kompensationsmetod, vilken är närbesläktad med den bekanta Ostwald'ska ¹⁾.

De felkällor, med vilka man har att räkna vid uppmätandet av små elektromotoriska krafter, äro följande:

1. Kontaktelektromotoriska krafter;
2. Främmande termoelektriska krafter;
3. Fel vid bestämningen av strömstyrkan i potentialfallstråden;
4. Fel vid bestämningen av det totala motståndet i densamma;
5. Kaliberfel;
6. Variationer i motstånden hos de i ledningen ingående trådarna på grund av ändringar i rumstemperaturen;
7. Inställnings- och indexfel.

¹⁾ OSTWALD u. LUTHER: Hand- und Hülfsbuch 369. Leipzig 1902.

a. Försöksanordning.

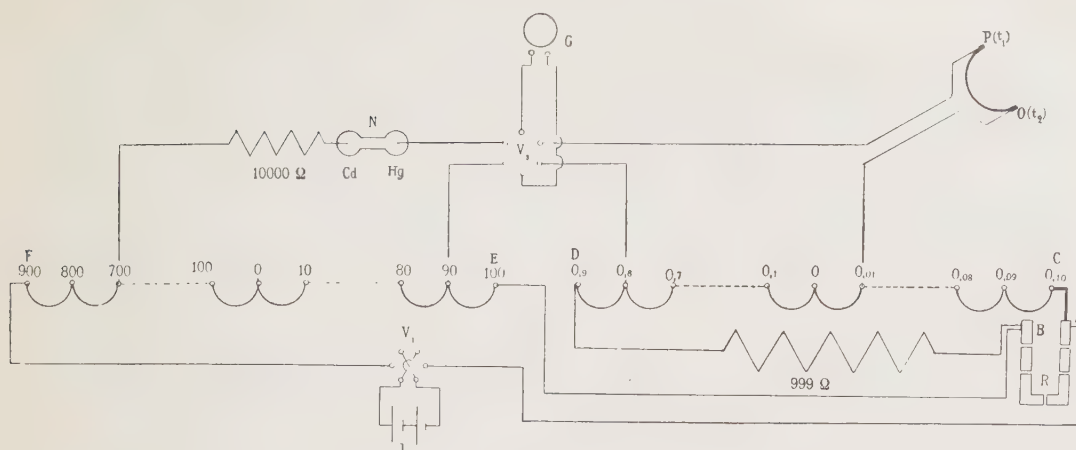


Fig. 1.

Fig. 1 ger en schematisk bild av den försöksanordning, jag använt för att reducera dessa fel till ett minimum. Från ett batteri av två seriekopplade Leclanché-element L går strömmen genom en vippa V_1 till punkten A , där huvudledningen grenar sig mellan å ena sidan reostaten R (1000 ohm) och å andra sidan ledningen $ACDB$. Denna består dels av en koppartråd CD med ett motstånd av ungefär 1 ohm och dels ett manganinmotstånd DB av ungefär 999 ohms motstånd, så avmätt, att totala motståndet i denna gren $ACDB$ vid 21°C . blir 1000 ohm. Det i figuren antydda sättet för koppartrådens anordning skall längre fram närmare beskrivas. Från B går huvudledningen över E genom en dekadisk motståndssats EF på 1000 ohm (korrektioner $< 0,01 \%$). Är proppen vid R urtagen, går hela strömmen genom CD . Strömstyrkan blir då ungefär 1 milliampère och potentialfallet i CD 1 millivolt. Mindre potentialfall i CD erhåller man genom att låta huvudströmmen grena sig mellan ledningen $ACDB$ och ett godtyckligt motstånd från reostaten R . I det följande har jag använt såsom shunt 50, 100, 200 etc. upp till 800 ohm. Såsom figuren visar, kompenserar man termoelementets (PO) EMK medelst potentialfallet utefter CD . Strömstyrkan i huvudledningen uppmätes på det sättet, att man medelst potentialfallet längs EF kompenserar ett normalelement N (Westonelement). På detta sätt kan man utan svårighet mäta strömstyrkan med en noggrannhet av $0,01 \%$, och, såsom jag i det följande genom exempel skall visa, kan man genom systematisk uppmätning av strömstyrkan med regelbundna tidsintervall eliminera eventuella fel från små ändringar i strömmens styrka.

För att fastställa compensationen, kan man med omkastaren V_2 koppla in i normalelementets resp. termoelementets (PO) strömkrets en spegelgalvanometer efter Deprez-d'Arsonval med tvålindad spole. Användes den kortaste lindningen (40 varv, 4 ohm), erhålles ett utslag av 1 mm. för en ström av $1,8 \cdot 10^{-8}$ amp. vid 2 m:s

skalavstånd. För att nedsätta galvanometerens dämpning till lämplig storlek har jag i galvanometerledningen infört ett motstånd av ungefär 5 ohm. Skattas motståndet i ett termoelement till 1 ohm, har man således inalles i strömkretsen c:a 10 ohm, och ett utslag av 1 mm. motsvarar således en potentialskillnad av $1,8 \cdot 10^{-7}$ volt. Med skattning av tiondedels mm. kan således en potentialskillnad av c:a $2 \cdot 10^{-8}$ volt konstateras. Uppgår således en termoelektrisk kraft till 20 mikrovolt, kan den mätas med en relativ noggrannhet av 0,1 %. Genom kortslutning av den längre lindningen (40 ohm) kan galvanometern dämpas vid nollpunktsbestämning o. d. Galvanometern, som varit skyddad mot värmestrålning, har vid torr väderlek och någorlunda jämn rumstemperatur visat sig tillfredsställande och haft mycket små nollpunktsändringar.

Betecknas strömstyrkan i huvudledningen med S , i grenen $ACDB$ med s , EMK för normalelementet med N och den sökta elektromotoriska kraften med P , de motstånd, som behövas för kompensation i EF och CD med resp. M och m , samt totala motståndet i grenarne ARB och $ACDB$ med R och r , fås följande ekvationer

$$S = \frac{N}{M}; s = \frac{P}{m}; s = S \cdot \frac{R}{r + R}, \text{ varur fås}$$

$$(1) \quad P = \frac{m}{M} \cdot \frac{RN}{r + R}.$$

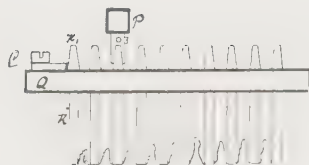


Fig. 2.

Av fig. 2 synes, huru potentialfallstråden CD är anordnad. I en ebonitplatta Q äro inskruvade 20 st. kopparpinnar av 4 mm:s tjocklek och 8 cm:s längd. Den del av en kopparpinne K , som ligger ovanför ebonitplattan, är koniskt avsvärvad. Mellan de nedre ändarna äro koppartrådar l fastlödda. Dessa ha ett motstånd av ungefär 0,1 resp. 0,01 ohm vardera, såsom

synes av fig. 1. Pinnarne äro anordnade i två rader med 10 i varje, på det sätt som fig. 3 visar. C och D äro två klämskruvar av koppar, som genom två 1 mm. tjocka kopparbleck stå i ledande förbindelse med resp. första och sista kopparpinnen. Kontakt mellan en ledningstråd och någon av kontaktkonerna erhålles med hjälp av ett par proppar av koppar. En sådan propp P är nedtill försedd med en konisk borrar, som passar noggrannt till en av konerna, och upptill med en klämskruv samt ett handtag av ebonit. Detta senare skyddar proppen för uppvärmning från handen vid omflyttningar. Hela anordningen är således densamma som vid en vanlig dekadisk motståndssats, blott med den skillnaden att alla metalldelar här utgöras av koppar. Ebonitplattan bildar locket i en mahognylåda, som skyddar koppartråden mot hastigare temperaturvariationer. För att mäta temperaturen inne i lådan har man en termometer inskjuten genom ett hål i lådans ena gavel.

Enär motståndet i dessa koppartrådar (l) är så litet, är det svårt att direkt avlika dem med någon större noggrannhet. Det visade sig, att de »skadliga mot-

stånden» i tilledningstrådarna spelade en alltför stor roll härför. I stället uppmättes motståndet i en viss längd av den koppartråd, som skulle användas, och härur beräknades de längder, som enligt denna mätning skulle innehålla just 0,1 eller 0,01 ohm, varefter dessa trådlängder så noggrannt som möjligt avklippes och fastlödades. Härvid uppstå naturligtvis fel såväl i totala motståndet som i förhållandet mellan de olika delarne inbördes. Det senare förorsakas väsentligen av svårigheten att löda exakt. I den motståndssats, jag förfärdigat, är det totala motståndet ej mer än 0,86 ohm, således rätt mycket mindre än 1 ohm. Detta beror på ett fel, sannolikt på grund av övergångsmotstånd, vid den första mätningen. Emellertid har detta ingen principiell betydelse, och det försvårar ej heller avsevärt den numeriska behandlingen av försöksresultaten.

b. Bestämning av motståndssatsens absoluta motstånd.

Potentialfallstrådens absoluta motstånd uppmättes i en brygganordning av det utseende fig. 3 visar. *MRL* är en vanlig proppreostat (på inalles 1000 ohm). *CD* är potentialfallstråden och Ω är ett normalohm. Medelst korta och tjocka kopparledningar samt två skålar med kvicksilver Hg_1 och Hg_2 äro dessa inbördes förbundna på det sätt fig. antyder. Ändarne av de ledningar, som sluta i kvick-

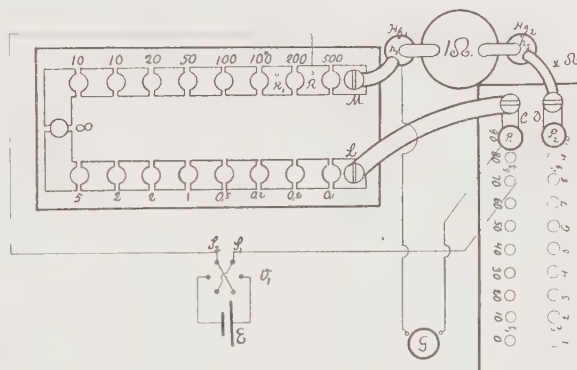


Fig. 3.

silvret, äro omsorgsfullt amalgamerade. Strömmen från ett galvaniskt element (E) släppes in vid R och tages ut vid P_2 (en av kontaktpropparne till potentialfallstråden). Galvanometerledningen är inkopplad mellan Hg_1 och P_1 . I detta fall utgöras sålunda grenarne i den Wheatstone'ska brygganordningen av $h_1D : DC : CLR : Rh_1$. Genom att variera motståndet i de båda grenarne av reostaten kan man, på 0,1 ohm när, finna det motstånd, som gör galvanometern strömlös, och medelst interpolation ur galvanometerutslagen kan man beräkna detta på 0,01 a 0,001 ohm. Motståndet i kopparledningarna Mh_1 och LC kan försummas vid sidan av de motstånd, som ingå i reostatgrenarne, enär dessa äro av storhetsordningen 100 ohm. Motståndet i ledningen Dh_2 , vilket på fig. betecknas med x , måste däremot uppmätas. Motståndet i koppartråden betecknas med m_t . Vid den koppling, fig. anger, är motståndet i grenen $h_1D = 1 + x$ ohm och i $CD = m_t$ ohm, och man mäter sålunda i detta fall förhållandet $\frac{1+x}{m_t}$. Förbinder man däremot S_1 med h_2

i stället för med P_2 , fås på samma sätt värdet av förhållandet $\frac{1}{m_t + x}$, och ur dessa båda värden beräknas m_t och x var för sig. För att eliminera eventuella fel i

reostaten omkastas de båda grenarne av denna på vanligt sätt. Då motståndet m_t i CD är beroende av temperaturen, är det nödvändigt att utföra mätningen vid ett tillfälle, då rumstemperaturen håller sig konstant inom 0,1 à 0,2° under den tid, som behöves för att utföra en hel mätningsserie. Detta visar sig vara fallet mellan 6—9 e. m. under sommaren, särskilt vid mulet väder. Hg_1 och Hg_2 giva vid uppvärming anledning till termoströmmar och måste skyddas mot värmestrålning genom pappershuvar. Vid omkastning av strömriktningen med vippan V_1 märker man genast, om sådana finnas, på den bristande symmetrien i galvanometerutslagen, och man får i sådant fall vänta, tills temperaturen hunnit jämnas ut sig. Alla omkastningar av vippan eller omkopplingar göras med regelbundna tidsmellanrum för att eliminera nollpunktsförskjutningar. Nollpunkten observeras efter varje avläsning.

Temperaturen är uppmätt med en Einschmelztermometer (Fuess 27600 : — 7 ~ + 52) utan korrektion upptill 30°.

I Tab. 1 här nedan anføres som exempel en fullständig mätningsserie. Då nollpunkten ej vandrat avsevärt under tiden, äro sådana observationer ej anförda. För temperaturkorrektionen redogöres längre fram.

Tab. 1. 11 juli 1908.

temp.	$h_1 h_2$	$h_2 DC$	$h_1 R_1$	CLR_1	Galv.-utsl.	Med.	
21,2°	1 ohm „	$m_t + x$ „	200 „	172,7 172,8	+ 0,73 — 0,33 + 0,18 + 0,22	0,53 0,02	$\frac{1}{m_t + x} = \frac{200}{172,783} \left\{ \begin{array}{l} m_t + x = 0,86392 \\ \frac{1+x}{m_t} = \frac{200}{172,70} \left\{ \begin{array}{l} m_t - 0,864 x = 0,86350 \\ x = 0,00027; m_t = 0,86365. \quad (21,2^\circ). \end{array} \right. \end{array} \right.$
	$h_1 D$	DC					
21,2°	1 + x „	m_t „	200 „	172,6 172,8	+ 0,81 — 0,40 — 0,36 + 0,80	0,61 0,58	
	$h_1 h_2$	$h_2 DC$					
21,2°	1 „	$m_t + x$ „	200 „	172,7 172,8	+ 0,64 — 0,23 + 0,08 + 0,30	0,44 0,11	

Reostaten lades om.

temp.	$h_2 DC$	$h_1 h_2$	$h_1 R_1$	CLR_1	Galv.-utsl.	Med.	
21,3°	$m_t + x$ „ „	1 „ „	200 „ „	231,4 231,6 231,4	— 0,62 + 0,44 + 0,21 — 0,38 — 0,62 + 0,51	0,53 0,29 0,56	$\frac{m_t + x}{1} = \frac{200}{231,53} \left\{ \begin{array}{l} m_t + x = 0,86382 \\ \frac{m_t}{1+x} = \frac{200}{231,65} \left\{ \begin{array}{l} m_t - 0,864 x = 0,86338 \\ x = 0,00022; m_t = 0,86360. \quad (21,3^\circ). \end{array} \right. \end{array} \right.$
	DC	$h_1 D$					
21,3°	m_t „ „	1 + x „ „	200 „ „	231,6 231,8 231,6	— 0,19 + 0,20 + 0,64 — 0,60 — 0,22 + 0,29	0,19 0,62 0,25	

$$21,2^\circ \left\{ \begin{array}{l} (m_t)_1 = 0,86365; \\ (m_t)_2 = 0,86328; \text{ (reducerat till } 21,2^\circ) \end{array} \right.$$

Medelvärde = 0,86347 ohm.

Vid $21,2^{\circ}$ C. är således motståndssatsens totala motstånd $0,86347$ ohm. Normalohmet antages vara utan korrektion.

Med samma anordning av bryggan, d. v. s. utan omläggning, äro följande mätningar gjorda vid olika temperatur.

Nr.	datum	temp.	m_t obs.	m_t ber.
1	17 nov. 1907	$14,9^{\circ}$	(0,8439)	0,8433
2	10 juli 1908	$19,2^{\circ}$	0,8570	0,8574
3	» » »	$19,4^{\circ}$	0,8580	0,8580
4	» » »	$20,2^{\circ}$	0,8605	0,8605
5	11 juli 1908	$21,0^{\circ}$	0,8630	
6	» » »	$21,2^{\circ}$	0,8637	0,8636

$$m_t = m_{21} + \alpha (t - 21);$$

$$\alpha = 0,00323.$$

c. Temperaturkoefficient.

Ur tabellen här ovan kan man beräkna temperaturkoefficienten för trådens motstånd. I denna tabell är värdet n:r 6 detsamma som värdet $(m_t)_1$ i Tab. 1. Vid beräkningen av α , motståndssatsens absoluta temperaturkoefficient, har jag gått ut från värdet n:r 5, $m_{21} = 0,8630$, enär denna bestämning är gjord under synnerligen gynnsamma omständigheter. Temperaturen i arbetsrummet höll sig under 2 timmar konstant vid $21,0$, och galvanometerens nollpunkt visade inga förflyttningar. Det obs. värdet n:r 1 har ej medtagits vid beräkningen av α , enär denna mätning utfördes omedelbart efter motståndssatsens förfärdigande, varför ändringar i det totala motståndet på grund av termisk eller mekanisk efterverkan ej kunna anses uteslutna. Det ber. värdet $0,8433$ är sålunda erhållet genom en mycket stark extrapolation. Av dessa skäl bör den ringa överensstämmelsen här ej tillmätas någon betydelse.

Ur temperaturkoefficienten α (hänförd till $21,0^{\circ}$) kan den relativa a (hänförd till 0°) beräknas ur följande ekvationer:

$$\left. \begin{aligned} m_0(1 + 21a) &= 0,8630 ; \\ m_0a &= 0,00323 ; \end{aligned} \right\} a = 0,00405.$$

Detta värde överensstämmer med det vanligen angivna värdet för teknisk koppar. Ur värdet a beräknades nu det totala motståndet för de temperaturer, som kunna komma i fråga, och dessa infördes i en tabell.

d. Kalibrering av motståndssatsen.

I det följande betecknar jag, såsom i fig. 4, tiotalsmotstånden med $t_9, t_8, \dots, t_1$; summan av alla enhetsmotstånden med t_0 och dessa var för sig med $e_1, e_2, \dots, e_{10}$. Det inbördes förhållandet mellan dessa motstånd bestämdes i en för-

söksanordning av det utseende fig. 4 visar. Strömmen från ett galvaniskt element (E) passerar från en kvicksilvrevippa V_1 genom motståndssatsen CD och därefter genom proppreostaten ML , vilken bl. a. innehåller ett motstånd på 0,1 ohm mellan punkterna P_4 och P_8 . Detta motstånd betecknas med N (oberoende av temp.). Medelst omkastaren V_2 , som är helt och hållet av koppar, kan galvanometerledningen från G sättas i förbindelse antingen med en ledning från potentialfallsträdens proppkontakter (i fig. anbrakta på konerna 70 och 80), eller med punkterna P_3 och P_4 på ömse sidor om motståndet N . I förra fallet är det således potentialfallet längs

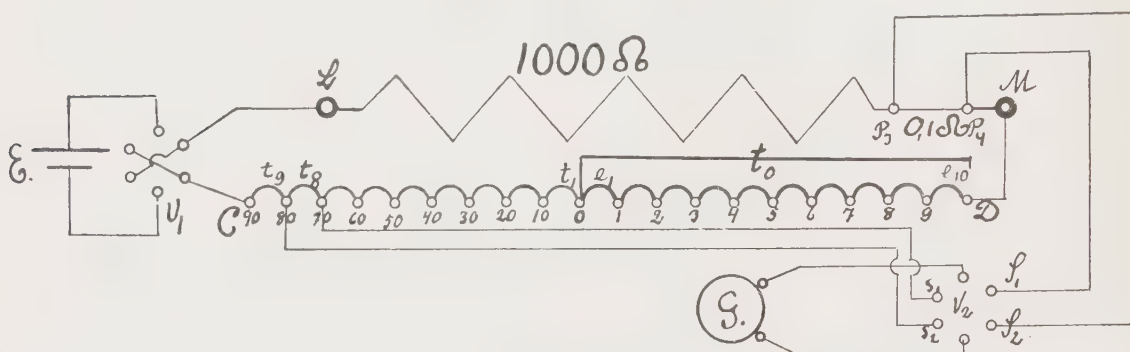


Fig. 4.

motståndet t_8 , i andra fallet längs N , som skickar ström genom galvanometern. Med ballastmotstånd i galvanometerledningen bringas utslagen till lämplig storlek, här ungefär 10 cm. Kalla strömstyrkan i huvudledningen för s , motståndet i galvanometerledningen för g , och utslagen för u_i resp. U , så fås

$$\left. \begin{aligned} \frac{s \cdot t_i}{g} &= u_i \\ \frac{s \cdot N}{g} &= U \end{aligned} \right\} \frac{t_i}{N} = \frac{u_i}{U}$$

En mätningsserie utfördes nu på det sättet, att de olika t_i successivt fingo skicka ström genom galvanometern. För att kontrollera, att strömmen i huvudledningen höll sig konstant, eller korrigera för ändringarna, inkopplades ständigt motståndet N mellan två successiva t -värden. Mellan varje avläsning bestämdes galvanometers nollpunkt, och för varje motstånd användes ström i positiv och negativ riktning (betecknad med $+$ eller $-$) för att konstatera eventuella främmande potential-differenser.

Följande tabell visar, huru en fullständig mätningsserie är utförd:

temp.	kl.	motst.	strömrikt.	u	0-pt. ber.
21,4°	5' 26'		0	— 0,20	} — 0,18
	26,5	N	—	— 10,73	
	27	N	+	+ 10,38	
	28		0	— 0,20	
	28,5	t_0	—	— 9,32	} — 0,21
	29	t_0	+	+ 8,90	
	30		0	— 0,19	
	30,5	N	—	— 10,71	
	31	N	+	+ 10,37	} — 0,17
	32		0	— 0,20	
21,5	32,5	t_3	—	— 9,39	

I Tab. 2 är mätningsserien fullständigt anförd. Då det visar sig, att nollpunktsförskjutningarna hela tiden ligga inom observationsfelens gränser, har ingen hänsyn tagits till dem, och de äro ej angivna i tabellen. I stället för medelvärde för två på varandra följande avläsningar för N är summan av dem använd som mått på strömstyrkan. Kvoten $\frac{E(t_i)}{E(N') + E(N'')}$ blir sålunda enligt formeln på föregående sida ett relativt mått på motståndet t_i . Kolumnen p innehåller medeltalen av de båda värden, som erhållas på denna storhet ur de båda avläsningar, som göras för ett visst motstånd t_i . För bättre översikt skull äro dessa i Tab. 2 införda på samma rad mitt emot varandra. Talen i kolumnen K erhållas ur motsvarande i p genom multiplikation med faktorn $\frac{10}{m[p]}$, varigenom summan av dem alla blir 99,998. Talen i K betyda således motstånden i t_i , uttryckta i hundraedelar av hela motståndssatsens absoluta motstånd. Beträffande temperaturkorrektionen hänvisas till anm. under Tab. 2.

Enhetsmotstånden korrigeras på alldeles samma sätt som tiotalen, blott med den skillnaden, att motståndet N (0,1 ohm) utbytes mot ett annat n (c:a 0,01 ohm). Detta utgjordes av 10 stycken 4 cm. långa manganintrådar (2,5 ohm pr meter), som voro fastlödda parallellt med varandra mellan två tjocka kopparbleck. Resultaten finnas angivna i Tab. 3, vilken är uppställd på alldeles samma sätt som Tab. 2, blott med den skillnaden, att talen i kolumnen k fås ur motsvarande p -värden genom multiplikation med faktorn $\frac{1,0054}{m[p]}$; faktorn 1,0054 användes för att göra summan av alla $e_i = 10,054$ d. v. s. lika med t_0 (se Tab. 2).

Slutligen har Tab. 4 beräknats ur Tabb. 2 och 3 på det sättet, att talen k_i och K_i adderats till varandra. Denna tabell anger direkt motståndet mellan två godtyckliga kontaktkoner på CD i hundraedelar av hela motståndet. För att finna motståndet mellan t. ex. kontaktkonerna 60 och 7 går man in i kolumnen 60 och raden 7 och finner så det sökta motståndet vara 66,891, uttryckt i hundraedelar

Tab. 2. *Korrekationer till tiotalsmotståndsen i den dekadiska motståndssatsen.*

e. m.	temp.	motst.	rött	svart	E_1	(1) $\frac{E(t_i)}{E(N') + E(N'')}$	$\frac{(1) + (2)}{2}$ p	Δ	K	(2) $\frac{E(t_i)}{E(N') + E(N'')}$	E_2	svart	rött	motst.	temp.	kl.
kl.			Galv.-utsl.									Galv.-utsl.				
6 ⁺ 27'	21,4 ⁰	N	10,73	10,38	21,11							10,23	10,57	N		7 ⁺ 47'
29		t_9	9,32	8,90	18,22	43250	43248	— 19	9,994	43245	20,80	8,80	9,19	t_9	21,9 ⁰	45
31		N	10,71	10,37	21,08						20,80	10,27	10,57	N		43
33	21,5	t_8	9,39	9,00	18,39	43719	43682	+ 415	10,096	43644	18,16	8,89	9,27	t_8		41
35		N	10,69	10,35	21,04						20,81	10,23	10,58	N		39
37		t_7	9,30	8,91	18,21	43339	43312	+ 45	10,011	43285	18,02	8,83	9,19	t_7		37
39		N	10,65	10,38	21,03						20,82	10,25	10,57	N		35
41	21,5	t_6	9,26	8,92	18,18	43320	43305	+ 38	10,009	43289	18,03	8,84	9,19	t_6		33
43		N	10,62	10,36	20,98						20,83	10,26	10,57	N		31
45		t_5	9,18	8,85	18,03	43070	43006	— 261	9,989	42943	17,99	8,78	9,11	t_5		29
47	21,6	N	10,60	10,32	20,92						20,83	10,28	10,55	N	21,9	27
49		t_4	9,14	8,85	17,99	43039	43027	— 240	9,944	43015	17,92	8,80	9,12	t_4		25
51		N	10,58	10,33	20,91						20,83	10,27	10,56	N		23
53		t_3	9,30	9,01	18,31	43809	43825	+ 558	10,128	43841	18,26	8,97	9,29	t_3	21,9	21
55		N	10,59	10,32	20,91						20,82	10,28	10,54	N		19
57	21,7	t_2	9,06	8,78	17,84	42698	42669	— 598	9,862	42640	17,76	8,73	9,03	t_2		17
59		N	10,58	10,31	20,89						20,83	10,29	10,54	N		15
7 ⁺ 1		t_1	9,15	8,85	18,00	43137	43100	— 167	9,961	43063	17,94	8,82	9,12	t_1		13
3	21,8	N	10,55	10,30	20,85						20,83	10,29	10,54	N	21,8	11
5		t_0	9,21	8,92	18,13	43503	43499	+ 232	10,054	43495	18,12	8,92	9,20	t_0		9
7		N	10,54	10,29	20,83						20,83	10,29	10,54	N		7
						M = 43267			99,998							

Tiotalsmotståndsen i den dekadiska motståndssatsen äro betecknade med $t_1, t_2 \dots t_9$; t_0 betyder summan av alla enhetsmotståndsen. $t_0 = e_1 + e_2 + \dots e_{10}$.

N » ett manganinmotstånd på 0,1 ohm.

Värdena i kolumnen (1) äro korrigerade för temperaturens stegring från 21,4⁰ till 21,8⁰ under antagande av temp.-coeff. 0,004.

K_i anger värdet av t_i , uttryckt i hundradedelar av det totala motståndet.

k_i anger värdet av e_i , uttryckt i hundradedelar av det totala motståndet.

av totala motståndet. För att underlätta interpolationen har jag i kolumnen Δ (Tab. 4) infört differenserna mellan de olika raderna. Dessa äro samma tal, som finnas i kolumnen k . För de flesta fall räcker det att antaga differensen lika med 1. Korrekctionerna äro, såsom framgår av Tab. 2 och 3, säkra på mindre än en enhet i näst sista siffran. Denna tabell gäller naturligtvis oberoende av temperaturen.

Uppmätningen av motståndet i ledningen BD (fig. 1) utfördes på vanligt sätt med en Wheatstone's brygganordning och gav som medelvärde 999,39 ohm. Härur beräknas $r = 999,39 + 0,86 = 1000,25$ ohm.

Tab. 3. *Korrekationer till enhetsmotståndsen i den dekadiska motståndssatsen.*

e. m. kl.	temp.	motst.	svart	rött	E_1	(1) $\frac{E(e_i)}{E(n') + E(n'')}$	(1)+(2) $\frac{2}{p}$	Δ	k $\frac{p}{5654} \cdot 1,0064$	(2) $\frac{E(e_i)}{E(n') + E(n'')}$	E_2	rött	svart	motst.	temp.	kl.
			Galv.-utsl.									Galv.-utsl.				
8' 1'	21,5°	n	6,61	7,01	13,62									n	21,3°	9' 21'
2		e_1	7,70	7,78	15,48	5675	5672	+ 18	1,0086	5669	13,60	6,72	6,88	e_1		19
3		n	6,68	6,97	13,65									n		17
4		e_2	7,68	7,72	15,40	5640	5638	— 16	1,0026	5636	15,34	7,58	7,76	e_2		15
9	21,5	n	6,72	6,93	13,65									n	21,3	13
11		e_3	7,72	7,76	15,48	5645	5653	— 01	1,0052	5661	15,41	7,62	7,79	e_3		11
13		n	6,73	6,91	13,64									n		9
15		e_4	7,80	7,81	15,61	5715	5716	+ 62	1,0163	5716	15,57	7,70	7,87	e_4		7
17	21,4	n	6,77	6,90	13,67									n	21,3	5
19		e_5	7,73	7,76	15,49	5666	5662	+ 08	1,0068	5659	13,63	6,76	6,87	e_5		3
21		n	6,77	6,89	13,66									n		1
23		e_6	7,72	7,72	15,44	5651	5647	— 07	1,0042	5644	15,39	7,61	7,78	e_6		8' 59'
25	21,4	n	6,78	6,88	13,66									n	21,3	57
27		e_7	7,72	7,70	15,42	5651	5648	— 06	1,0043	5646	15,40	7,63	7,77	e_7		55
29		n	6,80	6,83	13,63									n		53
31		e_8	7,60	7,54	15,14	5553	5551	— 103	0,9871	5548	15,13	7,51	7,62	e_8		51
33		n	6,81	6,82	13,63									n	21,4	49
35		e_9	7,81	7,74	15,55	5702	5698	+ 44	1,0132	5695	15,53	7,71	7,82	e_9		47
37		n	6,82	6,81	13,63									n		45
39		e_{10}	7,76	7,67	15,43	5659	5658	+ 04	1,0061	5656	15,42	7,67	7,75	e_{10}		43
41		n	6,83	6,80	13,63									n		41
						M = 5654			10,0544							

Enheterna i den dekadiska motståndssatsen äro betecknade med $e_1, e_2 \dots e_{10}$.

n betyder ett normalmotstånd av manganin på ungefär 0,01 ohm.

E » summan av galvanometerutslagen åt svart och rött för ett visst motstånd.

$\frac{E(e_i)}{E(n') + E(n'')} =$ förhållandet mellan E för ett enhetsmotstånd e_i och summan av E för den föregående och efterföljande avläsningen, då n ger utslag.

$p =$ medelvärde mellan nyssnämnda storheter för ett och samma värde på e , således en konstant som är prop. mot motståndet i detta e .

Tab. 4. *Korrekktionstabell till den dekadiska motståndssatsen, direkt angivande värdet av en avläsning i hundraedelar av hela motståndet.*

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Δ
0		9,961	19,823	29,951	39,895	49,834	59,848	69,854	79,950	89,944	1,009
1	1,009	10,970	20,832	30,960	40,904	50,843	60,852	70,863	80,959	90,953	1,002
2	2,011	11,972	21,834	31,962	41,906	51,845	61,854	71,865	81,961	91,955	1,005
3	3,016	12,977	22,839	32,967	42,911	52,850	62,859	72,870	82,966	92,960	1,017
4	4,033	13,994	23,856	33,984	43,928	53,867	63,876	73,887	83,983	93,977	1,007
5	5,040	15,001	24,863	34,991	44,935	54,874	64,883	74,894	84,990	94,984	1,004
6	6,044	16,005	25,867	35,995	45,939	55,878	65,887	75,898	85,994	95,988	1,004
7	7,048	17,009	26,871	36,999	46,943	56,882	66,891	76,902	86,998	96,992	0,987
8	8,055	17,996	27,858	37,986	47,930	57,869	67,878	77,889	87,985	97,979	1,013
9	9,048	19,009	28,871	38,999	48,943	58,882	68,891	78,902	88,998	98,993	1,006
10'	10,054	20,015	29,877	40,005	49,950	59,888	69,897	79,908	90,004	100,000	

e. Normalelement.

Som normalelement har jag vid mina mätningar använt ett kadmiumelement med mättad lösning av CdSO_4 , förfärdigat på Fysiska Institutionen. Detta har jag tid efter annan jämfört med två av Riksanstalten i Charlottenburg kontrollerade Clarkska normalelement. Avvikelserna från det för denna typ av kadmiumelement angivna värdet, 1,0187 volt, hava därvid städse befunnits $< 0,05\%$. Då temperaturkoefficienten för kadmiumelementet vid rumstemperatur utgör endast 0,000035 volt/grad, har jag ej behöft korrigera strömstyrkan härför.

II. Temperaturbestämning.

Termostater. För att erhålla konstanta temperaturer har jag använt tre termostater, vilka alla uppvärmdes med gas, nämligen en Ostwald-termostat försedd med vattenregulator och rymmande c:a 20 l. vatten, avsedd för 50°C ., samt två termostater med flytande paraffin. De båda senare rymma vardera c:a 3 l. och hava glasregulatorer med paraffinolja som regulatorvätska samt kvicksilver som spärrvätska. I 50° -badet fanns ovanpå vattnet ett skikt av paraffinolja för att minska avdunstningen. I samtliga termostaterna hölls vätskan i livlig rörelse medelst propellerrörare, drivna av en elektromotor. I 50° -badet höll sig temperaturen konstant på $\pm 0,02^\circ$ när. I de båda övriga steg temperaturen långsamt (c:a $0,2^\circ$ pr dag) på grund av kvicksilvrets avdunstning i regulatorn. Tid efter annan måste därför dessa regulatorer inställas på nytt. På grund av sin mindre värmekapacitet och på grund av regulatorvätskans ringa värmeledningsförmåga voro därjämte dessa termostater mindre snabba i inställningen än vattentermostaten, sedan temperaturjämvikten rubbats genom införande av kallare kroppar. Dessutom visade sig det flytande paraffinet dels avge rätt mycken rök dels i någon mån lösa metaller. Dessa olägenheter gjorde sig mest kännbara vid 150° .

Termometrar. Temperaturbestämningen utfördes med kvicksilvertermometrar. För bestämning av 0-punkten använde jag en termometer med lång underdel, avsedd för kalorimetermätningar ($-5,9 \sim +43,7 : \frac{1}{10}^\circ$). Temperaturen i 50° -badet uppmättes med en Fuesstermometer (PTR 26394; $-3,4 \sim +52,0 : \frac{1}{5}^\circ$), i 100° -badet med en Anschütztermometer (Haak 5682; $+15,0 \sim +24,0$; $+145,0 \sim +219,0 : \frac{1}{10}^\circ$). Av dessa korrigerades de tre förstnämnda genom jämförelse med en normaltermometer från Fuess (PTR 30087; $-4,4 \sim +102,0 : \frac{1}{10}^\circ$), varvid dennas 0-punkt och 100-punkt samtidigt kontrollerades och befunnos inom $0,01^\circ$ överensstämma med de ur Riksanstaltens i Charlottenburg korrektionstabell beräknade värdena. Den termometer, med vilken 150° -badets temperatur uppmättes, jämfördes med en normaltermometer från A. Haak, Jena (PTR 38442; $-5 \sim +5$; $+90 \sim +250 : \frac{1}{5}^\circ$).

Vid mätningarna hölls termometrarna ständigt nedsänkta till så vitt möjligt samma skalstreck. Korrektionen för den utskjutande kvicksilverpelaren, vilken endast ifrågakommer för 50° - och 100° -baden, bestämdes i det förra empiriskt genom jäm-

förelse mellan termometerns utslag, då den befann sig i sitt vanliga läge och då den var helt och hållet nedsänkt i badet. Vid 100°-badet bestämdes den utskjutande pelarens temperatur med en hjälptermometer, som genom en hylsa av aluminiumbleck skyddades för strålning från badet. Till ändringar i dessa korrekitioner på grund av växlingar i rumstemperaturen har jag icke tagit hänsyn. Samtliga termometrar utom den i 150°-badet fingo under hela försökstiden befinna sig i sina respektive bad. Denna termometer måste till förhindrande av kvicksilvrets avdunstning efter varje mätning tagas ur badet. För mina termoelektriska mätningar har jag en gång för alla beräknat korrektionerna för de tre ifrågakommande temperaturintervallen. Före varje temperaturbestämning har vid mätning av termoelektromotoriska krafter kontaktstället befunnit sig i endera av termostaterna under 10—15 minuter. Det har visat sig, att det kallare kontaktstället behövt vara nedsänkt i is minst 30 min., innan dess temperatur hunnit bliva konstant, samt att dettas temperatur ständigt varit ungefär 0,02° över isens smältpunkt. I allmänhet hava temperaturerna avlästs på 0,01° C. De korrigerade värdena på temperaturdifferenserna har jag emellertid avkortat på 0,1° C. när.

III. Termoelement.

Vid de flesta nyare termoelektriska undersökningar har man använt antingen bly eller kvicksilver som normalmetall i syfte att därigenom undgå Thomsons effekt. Denna fördel vinnes emellertid ej utan olägenheter. Först och främst får man in två nya kontaktställ mellan dessa metaller och den övriga ledningen (av koppar) och, då termoelektriska kraften mellan bly och koppar (eller emellan bly och kvicksilver) är högst avsevärd, får man här en felkälla av svår beskaffenhet. Då dessutom Thomsons effekt lika fullt kan komma fram i den övriga ledningen, blir fördelen av denna anordning mycket ringa.

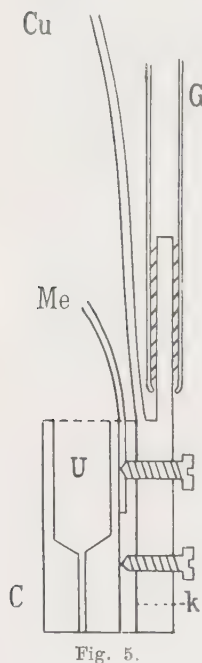
Härtill kommer, att bly av olika ursprung eller förhistoria ger olika värden på de termoelektriska konstanterna, och jag har därför vid mina undersökningar uppmätt den termoelektriska kraften mot koppar.

Som lödning alltid medför en okontrollerbar uppvärmning jämte förorening av försöksmaterialet, har jag åstadkommit förbindelsen mellan de olika delarna av termoelementet med klämskruvar och därmed fått fullkomligt entydiga resultat.

En annan felkälla vid termoelektriska undersökningar ligger däri, att ett kontaktställe på grund av värmets bortledning genom trådarna ej haft det omgivande temperaturbadets temperatur. Denna felkälla växer uppenbarligen i betydelse ju tjockare och kortare trådar man använder samt vidare i samma mån som värmeutbytet mellan temperaturbadet och termoelementet minskas på grund av bristande omröring eller ringa ledningsförmåga hos temperaturbadet. Denna felkälla har påpekats av bl. a. Meissner ¹⁾.

¹⁾ Fortschr. d. Phys. 1906: II, 98.

Kontaktanordningen bör därför äga stor värmekapacitet i förhållande till metalltrådarnas värmeledningsförmåga samt tillåta en mätning av föreningsställets verkliga temperatur. Dessa krav har jag tillgodosett genom den anordning, som visas i fig. 5 (nat. storl.). Den utgöres av en kopparcylinder, som är genomborrad



dels med en kanal (*k*), i vilken försökstråden fastklämmas med skruvar, samt vidare en större urborring (*U*) avsedd för termometerbehållaren. Medelst en kopparpinne gipsas cylindern fast vid ett glaströr (*G*) och kan med detta fästas så, att dess läge i temperaturbadet vid alla mätningar blir detsamma. Kopparcylindrarna hava direkt genom lödning förenats med två böjliga ledningstrådar av koppar, varefter de under en längre tid hållits uppvärmda till en temperatur av ungefär 200° C. Ledningstrådarna voro hopspunna av ett större antal finare trådar. Detta har visat sig vara till fördel, då därigenom de böjningar, som bliva nödvändiga vid omflyttningar av termoelementet, icke giva anledning till främmande *EMK*. Genom direkta försök har jag övertygat mig därom, att starka böjningar av koppartråden icke hava något inflytande på inställningen. Vidare har jag konstaterat, att en ojämn uppvärmning av koppartrådarna, vida större än den, som kan förorsakas av de oundgängliga växlingarna i rumstemperaturen, icke föranleder fel större än $1 \cdot 10^{-7}$ volt vid bestämningen av en termoelektromotorisk kraft. Vid mina slutliga mätningar har jag alltid sört för, att koppartrådarna legat så vitt möjligt på samma sätt i förhållande till temperaturbaden.

Vid alla mätningar har jag ständigt låtit en och samma kopparcylinder hava 0°, under det att den andra fått successivt antaga temperaturerna 50, 100 och 150° C. Vid var och en av de i det följande anförda mätningarna har jag dessutom ständigt prövat försökstrådarnas homogenitet genom omläggning av tråden (*Me*) på det sättet, att först en mätningsserie utförts med ena ändan (*a*) av tråden vid 0° C. och den andra (*b*) i de varmare baden och därefter med ändan *b* vid 0° C., och dessutom har jag kontrollerat, att den för själva mätningen nödvändiga uppvärmningen till högst 150° C. ej avsevärt ändrat försökstrådens beskaffenhet, genom att utföra mätningarna i ordningsföljden 0—50, 0—100, 0—150 och 0—50° C. Ur de på detta sätt erhållna värdena för intervallet 0—50° C. har jag tagit medelvärdet.

Betecknar man med *q*, det antal hundradedelar av potentialfallstrådens motstånd, som behövs för kompensation av termoelementets *EMK*, samt dess totala motstånd med *m_t*, kan formeln (1) skrivas

$$(2) \quad P = \frac{m_t \cdot q}{M} \cdot \frac{RN}{r + R},$$

där faktorn $\frac{RN}{r + R}$, en gång för alla beräknas för de olika värden på *r*, som kunna ifrågakomma.

Huru en enskild mätning av en termoelektromotorisk kraft är utförd, visar följande exempel:

a Bly 2. shunt 600 ohm.

kl.	<i>S</i>	<i>t</i> ₁	<i>t</i> ₂	<i>q</i> · 10 ⁻²	Galv.-utslag		
					rött	svart	
1: 35	+	0,12	99,67	0,57	1,57	0,42	<i>θ</i> = 16,8°
1: 37				0,58	1,59		
1: 37				0,57			
1: 38	—	0,12	99,70	0,58	1,58	0,42	
1: 40				0,57		0,42	
1: 40				0,58			

I kolumnen *S* betecknar + och — riktningen av strömmen i huvudledningen. Under *q* finnas värdena på det inkopplade kompensationsmotståndet från koppar-reostaten. Dennas temperatur kallas *θ*.

För bly och silver fås i allmänhet fullt konstanta galv.-utslag, men detta är ej fallet med t. ex. gjutet tenn.

För att pröva, om shuntreostaten *R* varit riktig och fri från övergångsmotstånd hos propparna, har jag mätt elektromotoriska kraften för samma termoelement med olika shuntmotstånd. För bly befanns t. ex. *E*₅₀₋₀ vara 147,71 mikrovolt med 600 ohms shuntmotstånd, samt 147,74 med 400 ohm.

För att å ena sidan möjliggöra en jämförelse mellan mina resultat och tidigare mätningar samt å andra sidan kontrollera oföränderligheten hos dessa tilliednings-trådar av koppar har jag tid efter annan uppmätt den termoelektriska kraften mellan dessa och olika stycken blytråd av samma ursprung och förhistoria (Merck, pur.). Härnedan anföras i Tab. 5 resultaten av en dylik mätningsserie. I denna och följande tabeller av samma slag betyder »*E* obs.» termoelementets *EMK* för det temperaturintervall, som angives under »*t*₂ — *t*₁ korr.» . Ur dessa värden har jag genom linjär extrapolation beräknat de värden »*E* red.», som skulle gälla för temperaturskillnader av exakt 50, 100 och 150° C. Sedan medelvärden *M* (*E*) beräknats för samma temperaturdifferenser mellan *a*- och *b*-värdena, har jag med minsta kvadratmetoden ur dessa beräknat värdena på konstanterna *α* och *β* i formeln:

$$(3) \quad E = \alpha (t_2 - t_1) + \beta (t_2 - t_1)^2.$$

Därvid har jag antagit den relativa noggrannheten hos de tre förekommande temperaturintervallen lika för att taga tillbörlig hänsyn till de ökade svårigheterna vid mätningen av högre temperaturer.

För samtliga av mig undersökta termoelement med undantag av de i Tab. 8 a och 11 a anförda, har den koppartråd, som stått i förbindelse med det varmare kontakt-stället, haft högst potential. Enligt den numera vanliga beteckningen äro således med ovannämnda undantag alla här undersökta metaller och legeringar *negativa* i förhållande till mina koppartrådar. I tabellerna betyder således *α* och *β* endast de numeriska värdena för dessa storheter, och endast i Tab. 15 har jag använt tecknet

Bly 2.

Tab. 5.

Termoelektrisk kraft. shunt 600 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	147,84	147,54	147,63	147,77
b	0,12	50,0	49,88	50,1	148,01	147,71		
a	0,12	99,69	99,57	99,7	314,32	315,26	315,30	315,02
b	0,12	99,70	99,58	99,7	314,39	315,33		
a	0,12	150,31	150,19	149,6	500,83	501,66	501,60	501,74
b	0,12	150,27	150,15	149,6	500,20	501,53		

$$\alpha = 2,7607. \quad \beta = 0,003895.$$

— för att utmärka, att hårddraget silver i termoelektriskt avseende har motsatt tecken mot mjukt silver i förhållande till koppar. Termoelektromotoriska krafter angivas överallt i mikrovolt.

En granskning av den nu beskrivna metoden med avseende på de å sid. 4 angivna felkällorna visar, att 1) kontaktelektromotoriska krafter ej kunna uppkomma, då det överallt är samma metall i hela ledningen, samt att 2) sannolikheten för främmande termoelektromotoriska krafter uppkomst är mycket liten av samma skäl. De termoelektromotoriska krafter, som skulle kunna tänkas uppkomma vid kontakterna mellan potentialfallstråden och tilledningstrådarna till termoelementet elimineras helt och hållet genom omläggningen av strömmen i den förra, och termokrafter i galvanometerledningen eller tilledningstrådarna måste, enligt vad härövan sagts, dels vara små, dels vid själva mätningen komma till synes i form av växlande galvanometerutslag, då ju varje mätning tar en tid av 5 min.

Felkällorna 3, 4 och 5 äro i det föregående redan diskuterade. Då potentialfallstråden ligger väl skyddad för hastiga temperaturväxlingar, är det ej sannolikt, att dess temperatur ens med $1/10^\circ$ kan avvika från termometerns. Vid alla mina mätningar har jag använt samma termometer för bestämning härav, nämligen den å sid. 10 omnämnda. Ett fel i temperaturbestämningen på $1/10^\circ$ vållar endast ett fel av 0,04 % i slutresultatet.

Felkällan n:r 7 är genom användandet av fasta kontaktpunkter principiellt utesluten.

IV. Metod att mäta ledningsmotståndets temperaturkoefficient.

För bestämning av det elektriska ledningsmotståndets temperaturkoefficient har jag använt följande metod (fig. 6): Från ett ackumulatorbatteri (B) på fyra celler ledes elektrisk ström genom ett Ruhstrat-motstånd (W) med en grövre och en finare lindning och därefter genom en vanlig proppreostat (R), varifrån propparna borttagits; vidare genom den metalltråd (Me), vars motstånd skall bestämmas, och förbi en strömbrytare tillbaka till batteriet. Strömstyrkan i ledningen uppmättes medelst

en precisionsmilliampèremeter från Siemens & Halske ($0,0001 \frac{\text{amp.}}{\text{skd.}}$; $m_i = 100 \text{ ohm}$; 0 — 150 skd.) på det sättet, att ampèremeterens klämskruvar förenades med kontaktpropparna till reostaten och därefter inkopplades med ett lämpligt motstånd från

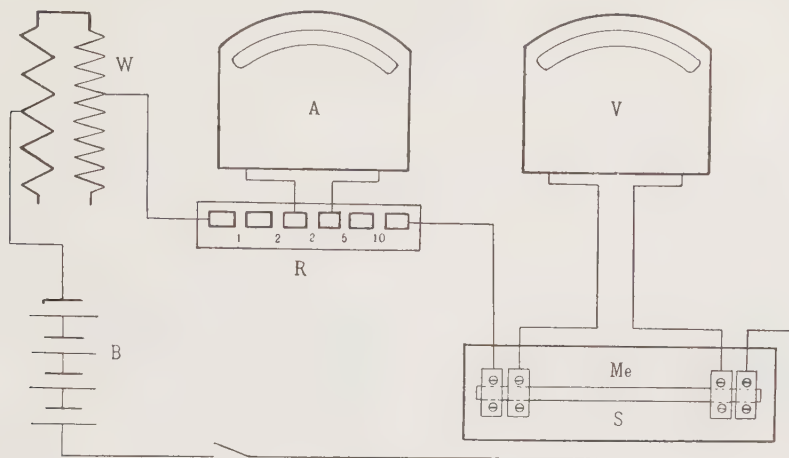


Fig. 6.

denna som shunt. Potentialfallet i en viss del av metalltråden uppmättes medelst en millivoltmeter från Siemens & Halske ($0,0001 \frac{\text{volt}}{\text{skd.}}$; $m_i = 383 \text{ ohm}$; 0 — 180 skd.).

Detta senare instrument tillhör en pyrometer enligt Le Chatelier. För att få pålitliga kontakter och eliminera övergångsmotståndens inflytande har jag begagnat följande anordning: På en rektangulär skifferplatta (S) anbraktes, såsom fig. 6 visar, vid vardera ändan två klämskruvar av koppar, den ena avsedd för tillledning av strömmen, den andra genom en ledningstråd förbunden med voltmeterens ena klämskruv. För längre trådar placerades klämskruvarna på sådant sätt, att tråden kunde upplindas i en plan spiral på skifferplattan.

För att så mycket som möjligt utnyttja instrumentens känslighet valde jag, så framt detta var möjligt, shuntmotståndet i R så, att utslagen på instrumenten blevo ungefär numeriskt lika, då Me hade rumstemperatur.

Sedan S därefter nedförts i endera av termostaterna eller nedbäddats i finmalen is och hunnit antaga konstant temperatur (10—30 min.), utfördes en mätningsserie på det sättet, att strömmen slöts, varefter dess styrka med motståndet W inreglerades till ett visst bestämt värde, varpå det däremot svarande potentialfallet avlästes på V . För att underlätta räkningarna har jag alltid använt strömstyrkor, som på milliampèremeteren givit utslagen 60, 80 och 100 skd., och för att pröva kontakternas oföränderlighet uppmätte jag alltid motståndet vid 0° C. omedelbart efter varje mätning vid högre temperatur.

Då de motstånd, som varit föremål för mätning, på sin höjd uppgått till 0,1 ohm, kan man med hänsyn till voltmeterens stora inre motstånd (383 ohm) försumma

att korrigera strömstyrkan för den gren därav, som går genom voltmetern. Betecknas därför motståndet i metalltråden med m_t , shuntmotståndet i reostaten med r , samt utslagen på voltmetern och ampèremetern med p och s resp. och strömstyrkan i huvudledningen med i fås:

$$m_t \cdot i = 0,0001 \ p$$

$$i = \frac{100 \cdot 0,0001 \ s}{r} + 0,0001 \ s;$$

varur fås

$$(4) \quad m_t = \frac{r}{100 + r} \cdot \frac{p}{s}.$$

Om sålunda vid en mätningsserie hela tiden samma shuntmotstånd r användes, blir motståndet proportionellt mot $\frac{p}{s}$, varför denna storhet vid beräkningen av motståndets temperaturkoefficient kan direkt användas. Endast för beräkning av motståndet vid 0° C. har jag använt den fullständiga formeln.

Eftersom jag vid alla temperaturer använt samma strömstyrkor, erfordras för metodens tillförlitlighet av ampèremetern endast, att utslagen äro entydiga, och av voltmetern, att dess utslag äro proportionella mot strömstyrkan. Att detta senare är fallet, bevisas därav, att $\frac{p}{s}$ blir konstant under varje mätningsserie vid konstant

temperatur. Är $\frac{p}{s}$ konstant, visar detta därjämte, att tråden Me antagit badets temperatur, så framt det har förflutit en tillräcklig tid mellan de olika mätningarna. För att visa den grad av noggrannhet, till vilken man med denna metod kan komma, anföres här (sid. 21) en fullständig observationsserie. Om avvikelserna mellan de olika vid 0° C. funna värdena visat sig ligga inom felgränserna, har jag ur dem beräknat ett medelvärde. De övriga reduceras till exakt 50 , 100 och 150° C. med antagande av lineärt sammanhang mellan motstånd och temperatur. Ur dessa värden, vilka jag betecknat med » m red.», har jag sedan enligt minsta kvadratmetoden beräknat värdet på γ och δ under förutsättning, att motståndet följer lagen:

$$(5) \quad m_t = m_0 (1 + \gamma t + \delta t^2).$$

Därvid har jag, liksom vid den numeriska beräkningen av observationerna beträffande den termoelektriska kraften, tagit hänsyn till de ökade svårigheterna att bestämma högre temperaturer på det sättet, att jag betraktat den relativa noggrannheten för de tre ifrågakommande temperaturintervallerna såsom lika stor. För att underlätta jämförelsen mellan de av mig bestämda värdena på temperaturkoefficienterna med de av Guertler beräknade, har jag för varje undersökt metall eller legering ur γ och δ beräknat dels ledningsmotståndets procentiska tillväxt, P_z , och dels lednings-

Silver 12: 2.

Valsat, upphettat till 200° under 4 timmar, lackerat.

Tab. 6.

shunt 1 ohm.

kl.	t obs.	p	s	$\frac{p}{s}$	kl.	t obs.	p	s	$\frac{p}{s}$
2: 5	0	55,75	60	9292	4: 5	99,8	78,7	60	13117
		74,4	80	9300			104,7	80	13088
		93,0	100	9300			130,8	100	13080
$M = 9298,5$					t korr. 99,8 $M = 13089$ m red. = 13115				
2: 25	50,0	67,15	60	11192	4: 25	0	55,7	60	9283
		89,5	80	11188			74,4	80	9300
		112,1	100	11210			93,0	100	9300
t korr. = 50,1 $M = 11200$ m red. = 11178					$M = 9297$				
3: 10	0	55,75	60	9292	5: 10	150,3	90,05	60	15008
		74,35	80	9294			120,0	80	15000
		93,05	100	9305			150,05	100	15005
$M = 9299,0$					t korr. 149,6 $M = 15004$ m red. = 15064				
3: 35	50,0	67,2	60	11200	5: 45	0	55,75	60	9292
		89,5	80	11188			74,4	80	9300
		112,05	100	11205			93,0	100	9300
$M = 11199,5$					$M = 9298,5$ m red. = 9298				

Silver 12: 2.

Tab. 7. *Ledningsmotst. temp.-coeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	9298	9298		
50,0	50,1	11200	11178	1880	11183
99,8	99,8	13089	13115	3817	13106
150,3	149,6	15004	15064	5766	15069

 $m_0 = 0,009$ ohm. $\gamma = 0,004012$. $\delta = 0,000000889$. $P_s = 40,95$. $P_a = 29,06$. $P_{50} = 20,2$ (obs.).

förmågans procentiska minskning, P_a , för en uppvärmning från 0 till 100° C. De båda storheterna definieras av följande ekvationer:

$$P_z = \frac{m_{100} - m_0}{m_0} \cdot 100$$

$$P_a = \frac{\frac{1}{m_0} - \frac{1}{m_{100}}}{\frac{1}{m_0}} \cdot 100;$$

härur fås sambandet dem emellan

$$(6) \quad P_a = \frac{100 \cdot P_z}{100 + P_z}.$$

Då det visat sig, att sammanhanget mellan ledningsförmågan och temperaturen för de av mig undersökta metallerna ej är lineärt, har jag föredragit att vid beräkningen av resultaten utgå från de direkt observerade motstånden framför att beräkna värden på ledningsförmågan och lägga dessa till grund för de slutliga beräkningarna.

Metoden blir i någon mån osäker för motstånd hos *Me* av storhetsordningen 0,001 ohm på grund av svårigheten att hålla den starkare ström, som här behöves, konstant under den tid, som erfordras för en mätning. Den blir vidare okänslig för det fall, att temperaturkoefficienten är liten. Då strömkretsen är öppen, ger sig en termoel. kraft på grund av ett eventuellt temperaturfall längs *Me* tillkänna genom nollpunktsändring hos voltmetern.

Under försökens lopp visade det sig, att motståndet hos blanka metalltrådar genom uppvärmning i 100- och 150°-badet undergick förändringar, vilka till största delen åtminstone berodde därpå, att metallerna delvis löstes av den varma paraffinoljan. För rent tenn och rent bly äro dessa verkningar förhållandevis stora. Vid bly kunde dessutom iakttagas, att metallisk koppar (från klämskruvarna) utfölldes på den blanka blytråden. För att skydda trådarna häremot har jag lackerat dem med ugnslack, vilket visat sig resistent mot paraffinoljan.

Inverkan av mekanisk och termisk förbehandling på silvrets elektriska egenskaper.

Många rena metaller och i all synnerhet legeringar äro med avseende på sina elektriska egenskaper i hög grad beroende av sin mekaniska och termiska förhistoria. Vålbekanta äro t. ex. de långsamt försiggående motståndändringarna hos metalltrådar i reostater. För hårdat stål kan sp. ledningsmotståndet uppgå till mera än 2 gånger värdet av samma konstant för utglödgat. Chevalier¹⁾ har för trådar av platinasilver funnit, att dess motstånd vid stigande temperatur passerar ett maximum och ett minimum. De kurvor, som ange sammanhanget mellan motstånd och temperatur, bliva olika allt eftersom tråden efter en uppvärmning fått svalna långsamt eller blivit plötsligt avkyld. Slutligen har han visat, att denna legering vid cykliska ändringar av temperaturen i visst avseende förhåller sig beträffande motståndet som glas med avseende på volymen.

Åtskilliga rena metaller, bland dem silver, kunna genom mekanisk bearbetning, valsning eller pressning, ändra sina egenskaper högst avsevärt. Tomlinson²⁾ har i en omfattande undersökning studerat inverkan av såväl temporär som permanent sträckning och hoptryckning på flera av metallernas fysikaliska egenskaper.

För min undersökning av tenn-silverlegeringarna var det av vikt att avgöra, huruvida det var möjligt att oberoende av dessa förhållanden kunna få med varandra jämförbara värden på konstanterna, eller med andra ord, om verkan av föregående olikartad bearbetning kunde utplånas så pass fullständigt, att legeringarnas egenskaper skulle bliva entydiga funktioner av den kemiska sammansättningen.

Genom mikroskopisk analys har det utrönts, att den kemiska strukturen hos legeringar med samma procentiska sammansättning kan vara mycket olika alltefter den hastighet, med vilken de fått av svalna. På förhand kan man därför vänta, att dessa förhållanden skola visa sig mera komplicerade hos legeringar än hos rena metaller, och Chevalier's nyssnämnda arbete synes tyda på kemiska omvandlingar hos den fasta legeringen. Jag har därför ägnat denna fråga beträffande slutleden i min legeringsserie, silver och tenn, en särskild undersökning. Därvid har emellertid tennet visat sig, såväl termoelektriskt som beträffande motståndets förändring med temperaturen, vara tämligen oberoende av sin mekaniska förhistoria.

¹⁾ CHEVALIER: Journ. de phys. (4) 1, 157 (1902).

²⁾ TOMLINSON: Phil. Trans. 174, 1 (1883).

De elektriska egenskaperna hos olika »modifikationen» av silver hava visserligen ofta varit föremål för undersökning, men i regel har aldrig mera än en egenskap åt gången blivit studerad på samma material, och graden av hårdhet har därigenom ej på något sätt blivit numeriskt definierad. Så anger t. ex. Noll ¹⁾ utan någon diskussion för termoelektromotoriska kraften E_{100-0} för silver av olika förhistoria följande värden:

		Mycket hårt	Hårt	Svagt uppvärmt	Mjukt
Mot kvicksilver	E_{100-0}	= 710,23	695,85	685,97	671,51 mikrovolt.
Mot bly	$E_{100-0}^{2)}$	= 307,7	293,3	283,5	269,0 »

Enligt Dewar och Fleming ³⁾ är E_{100-0} för bly-silver 332 mikrovolt ⁴⁾. Dessa sistnämnda lämna inga uppgifter om silvrets förhistoria.

Den utförligaste undersökningen av hårdhetsgradens inflytande på temperaturkoefficienten för silvrets ledningsförmåga har utförts av Matthiessen och Bose ⁵⁾, vilka ange följande värden på konstanterna i formeln

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 - at + bt^2):$$

Tråd	$a \cdot 10^8$	$b \cdot 10^6$
1 hård	3,8394	9,723
» mjuk	3,7725	8,900
2 hård	3,8915	10,472
» mjuk	3,9287	10,625
3 hård	3,7544	9,724
» mjuk	3,7855	9,647

och sedan beräkna medelvärdena under förutsättning, att *temperaturens inflytande* på ledningsförmågan (λ) för *hårt och mjukt silver* är detsamma.

Av nyare arbeten är det endast Cohns ⁶⁾ undersökning: »Nachwirkungsänderungen des Widerstandes», som mera ingående behandlar denna fråga. Cohn undersöker det *absoluta ledningsmotståndet vid rumstemperatur* för hårddragna trådar av (platina och) silver (0,4 % föroreningar), sedan dessa under kortare eller längre tid varit upphettade till 60, 100, 140 eller 180°, och drar ur sina mätningar den slutsatsen, att ändringarna delvis måste bero på efterverkan och ej uteslutande på ändring i den inre strukturen, men anmärker samtidigt, att en mätning av ledningsmotståndets temperaturkoefficient borde vara av större intresse än mätningen av det absoluta motståndet.

¹⁾ NOLL: Wied. Ann. 53, 884 (1894).

²⁾ Beräknade med hjälp av Nolls värde för elementet $Pb - Hg$.

³⁾ DEWAR a. FLEMING: Phil. Mag. (5) 40, 108 (1895).

⁴⁾ Av nyare mätningar har jag här ej kunnat anföra Holborn och Days (1899), då dessa, använt Pt som normalmetall, och ej heller Jaeger och Diesselhorsts (1900), enär dessa senare uppmätt den termoelektriska kraften direkt.

⁵⁾ MATTHIESSEN u. BOSE: Pogg. Ann. 115, 360 (1862).

⁶⁾ COHN: Wied. Ann. 41, 71 (1890).

Då denna fråga sålunda icke var för mitt ändamål tillräckligt utredd, har jag gjort följande försök. Silverbleck (puriss. pro anal., Merck 1905) nedsmältes, göts i kolform till en cylinder samt valsades med så ringa uppvärmning som möjligt till en tråd med ett kvadratisk tvärsnitt av ungefär 2 mm:s sida. Den drogs därefter för hand genom en dragskiva utan förnyad uppvärmning till tråd av 0,5 mm:s tjocklek. Den på detta sätt erhållna tråden var styv och fjädrande. En del av denna tråd, betecknad 9:1, undersöktes omedelbart enligt förut angivna metoder med avseende på termoelektrisk kraft och ledningsmotstånd. Därefter bestämdes den strömstyrka, för vilken denna tråd nätt och jämnt kunde bringas till smältning. Ett stycke av tråden, betecknat med 9:2, upphettades därefter med en ström, 1 amp. svagare, än den förra. Sedan den på detta sätt hållits vid ljus gulglödning under c:a 2 minuter, avkyldes den plötsligt genom neddoppning i kallt vatten, under det att den fortfarande genomflöts av strömmen. Ett tredje stycke, 9:3, upphettades med lika stark ström som 9:2 under 5 minuter och fick sedan långsamt avsvälva på det sättet, att strömstyrkan under loppet av 5 minuter så småningom fick sjunka till 0. Samtliga dessa trådar undersöktes med avseende på termoelektrisk kraft och ledningsmotstånd enligt förut beskrivna metoder¹⁾. Resultaten härav anföras i Tabb. 8 a—10 b. Dylika mätningar, utförda på andra trådar, hava givit analoga resultat.

Jag anför här vidare resultaten av mätningar på tjockare tråd. Då jag ej med noggrannhet kunnat mäta starkare strömmar än 30 amp., och denna strömstyrka ej räckt till att smälta denna tjockare tråd, har jag använt blästerlåga för uppvärmning. 12:1 betecknar den hårdvalsade, 10 den glödgade och plötsligt kylda, 11 den glödgade och långsamt avkylda samt 12:2 en tråd, som jag i torkskåp hållit uppvärmd till 200° C. under 4 timmar och samtidigt överdragit med ugnslack. Nr 10 och nr 11 lackerades med hjälp av uppvärmning till 150° C. under c:a 20 minuter. Av samtliga dessa trådar har jag utgått från stycken på ungefär 1 m:s längd och efter den ovan beskrivna behandlingen delat dem i två delar samt mätt termoelektriska kraften på den ena och motståndet på den andra. Resultaten av dessa mätningar finnas i Tabb. 11 a—14 a samt i Tab. 7 sid. 21. P_{50} betyder här procentisk tillväxt i ledningsmotståndet för 50°:suppvärmning.

Silver 9:1.

Styv, nyss hårddragen tråd.

Tab. 8 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

$t_1 = 0^\circ$;	$t_2 =$	50,0°	100,0°	150,0°	50,0°
$\left. \begin{matrix} a \\ b \end{matrix} \right\} E \text{ red.} =$	{	-0,69	+3,42	+9,27	+1,4
		-0,45	+3,44	+8,01	+1,2

Tab. 8 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff.*²⁾ shunt 3 ohm.

$t =$	0°	50,0°	100,0°	150,0°	0°
$(m =) \frac{P}{s}$	8373	9969	11625	13263	8355
$P_{50} = 19,06.$					

¹⁾ Silver angripes ej av varm paraffinolja. Jfr COHN a. a. s. 74.²⁾ Uppmätt efter bestämningen av termoelektriska kraften.

Silver 9: 2.

Upphettad med 27 amp. och plötsligt kyld i vatten.

Tab. 9 a. *Motståndets ändring med temperaturen.* shunt 3 ohm.

$t =$	0°	50°	0°	100°	0°	150°	0°
$(m \Rightarrow) \frac{P}{s}$	8974	10716	8976	12480	8914	14281	8887
	$P_{50} = 19,4.$						

Tab. 9 b. *Termoelektrisk kraft.*¹⁾ shunt 400 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	13,23	13,20	13,31	13,33
b	0,12	50,0	49,88	50,1	13,45	13,42		
a	0,12	99,70	99,58	99,7	29,23	29,32	29,27	29,23
b	0,12	99,85	99,73	99,8	29,16	29,22		
a	0,12	150,72	150,60	150,0	47,70	47,70	47,67	47,69
b	0,12	150,84	150,72	150,1	47,66	47,63		

$$\alpha = 0,2410. \quad \beta = 0,000518.$$

Silver 9: 3.

Upphettad med 27 amp. under 5 min. och därefter med så småningom avtagande ström.

Tab. 10 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	12,44	12,42	12,45	12,64
b	0,12	50,0	49,88	50,1	12,50	12,48		
a	0,12	100,11	99,99	100,1	27,91	27,88	27,75	27,38
b	0,12	100,10	99,98	100,1	27,64	27,61		
a	0,12	150,69	150,57	150,0	43,98	43,98	44,02	44,21
b	0,12	150,72	150,60	150,0	44,05	44,05		

$$\alpha = 0,2318. \quad \beta = 0,000420.$$

Tab. 10 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 4 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	8272	8272		
50,0	50,1	9955	9935	1663	9944
99,6	99,6	11619	11665	3393	11646
150,4	149,7	13342	13369	5097	13378

$$\gamma = 0,004007. \quad \delta = 0,00000721. \quad P_{50} = 20,1 \text{ (obs.)}$$

¹⁾ Termoel. kraften bestämd efter det tråden under c:a 30 min. varit uppvärmd till 150° C.

Silver 12: 1.

Styv, nyss hård dragen tråd.

Tab. 11 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

kl.	8 ^t 40' f. m.	9 ^t	9 ^t 20'	10 ^t	1 ^t 30' e. m.
$t_1 = 0; t_2 =$	50,0 ⁰	100,0 ⁰	150,0 ⁰ ¹⁾		
$E =$	-4,2	-5,9	+1,2	+4,8	+10,4

Tab. 11 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 1 ohm.

$t =$	0 ⁰	50,0 ⁰	0 ⁰
$(m =) \frac{P}{s} =$	9763	11619	9760
	$P_{50} = 19,02.$		

Silver 10.

Glödgd med bläster, kyld i vatten, lackerad.

Tab. 12 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M(E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	12,35	12,33	12,36	12,63
b	0,12	50,0	49,88	50,1	12,40	12,38		
a	0,12	99,84	99,72	99,8	27,85	27,91	28,10	27,59
b	0,12	99,81	99,69	99,8	28,22	28,28		
a	0,12	150,67	150,55	150,0	44,28	44,28	44,59	44,91
b	0,12	150,66	150,54	149,9	44,86	44,89		

$$\alpha = 0,2292. \quad \beta = 0,000468.$$

Tab. 12 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	10145	10145		
50,0	50,1	12167	12143	1998	12143
100,0	100,0	14240	14240	4095	14240
150,1	149,4	16371	16436	6291	16436

$$m_0 = 0,010 \text{ ohm. } \gamma = 0,003841. \quad \delta = 0,000001852. \quad P_z = 40,36. \quad P_a = 28,75. \quad P_{50} = 19,7 \text{ (obs.).}$$

¹⁾ Det varmare kontaktstället hela tiden vid 150° C.

Silver 11.

Glödgad med bläster, långsamt avkyld, lackerad.

Tab. 13 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	11,89	11,87	11,82	12,07
b	0,12	50,0	49,88	50,1	11,79	11,77		
a	0,12	99,74	99,62	99,7	27,11	27,19	27,14	26,65
b	0,12	99,78	99,66	99,8	27,04	27,09		
a	0,12	150,33	150,21	149,6	43,53	43,65	43,50	43,75
b	0,12	150,41	150,29	149,7	43,25	43,34		

$$\alpha = 0,2162. \quad \beta = 0,000503.$$

Tab. 13 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	10350	10350		
50,0	50,1	12453	12428	2078	12435
99,8	99,8	14553	14582	4232	14568
149,9	149,2	16653	16742	6392	16749

$$m_0 = 0,010 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,0039826. \quad \delta = 0,0000009275. \quad P_z = 40,75. \quad P_a = 28,95. \quad P_{60} = 20,1 \text{ (obs.)}$$

Silver 12: 2.

Upphettad till 200° under 4 tim., lackerad.

Tab. 14 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,11	50,0	49,89	50,1	10,23	10,21	10,00	10,28
a	0,12	99,79	99,67	99,8	23,86	23,91	23,96	23,40
a	0,12	150,21	150,09	149,5	39,03	39,16	39,07	39,85
a	0,12	50,0	49,88	50,1	10,18	10,16		
b	0,12	50,0	49,88	50,1	9,87	9,85		
b	0,12	99,78	99,66	99,8	23,95	24,00		
b	0,12	150,29	150,17	149,6	38,87	38,97		
b	0,12	50,0	49,88	50,1	9,82	9,80		

$$\alpha = 0,1773. \quad \beta = 0,000567.$$

Beträffande ledningsmotståndets temperaturkoefficient hänvisas till Tab. 7 sid. 21.

Dessa mätningar visa, att 9:1, 9:2 och 12:1 redan för en uppvärmning till 100° C. under den tid, en mätning kräver, måste betraktas som labila modifikationer av silvret. För 9:1 och ännu tydligare för 12:1 visar sig termoelektriska kraften i hög grad beroende av den föregående uppvärmningens långvarighet och intensitet.

Aven vid motståndsmätningarna på trådarna 9: 1 och 9: 2 framträder denna labilitet fullt tydligt. Trådarna 9: 3, 10, 11 och 12: 2 visa sig däremot stabila vid mina mätningar, vilket naturligtvis endast innebär, att de ändringar, som möjligen hunnit uppkomma under här ifrågakommande tider, ligga inom felgränserna. Av samtliga mina mätningar synes framgå, att en uppvärmning till 50° C. under 1/2 timme ej avsevärt ändrar vare sig motståndet eller termoelektriska kraften ¹⁾.

Resultaten av de här anförda mätningsserierna har jag sammanfört i Tab. 15.

Tab. 15. *Översikt över silvrets egenskaper vid olikartad termisk och mekanisk behandling.*

Tråd	α	$\beta \cdot 10^3$	E_{50-0}	$\gamma \cdot 10^3$	$\delta \cdot 10^6$	P_{50}	c_0	Anm.
9: 1			— 0,6			19,1	0,0160 ²⁾	Styv, en del uppvärmd till 150°.
9: 2	0,2410	0,513	13,3			19,4		Upphettad, kyld i vatten.
9: 3	0,2318	0,420	12,5	4,007	0,72	20,1	0,0150 ²⁾	Upphettad, långsam avsvälning.
12: 1			— 4,2			19,0	0,0159	Styv, ej uppvärmd.
10	0,2232	0,468	12,4	3,841	1,95	19,7	0,0152	Glödgd, kyld i vatten, lackerad.
11	0,2162	0,503	11,8	3,983	0,93	20,1	0,0148	Glödgd, långsam avsvälning, lackerad.
12: 2	0,1773	0,567	10,0	4,012	0,84	20,2	0,0145	Upphettad till 200° under 4 t., lackerad.

Då vissa av dessa trådar, såsom ovan sagts, ej äro stabila vid uppvärmning till högre temperatur än 50° C., har jag, för att kunna jämföra dem med varandra, i Tab. 15 angivit dels den obs. termoelektromotoriska kraften för intervallet 0—50° C. (E_{50-0}) och dels ledningsmotståndets procentiska tillväxt (P_{50}) för samma uppvärmning. I kolumnen c_0 har jag angivit sp. ledningsmotståndet för alla trådar utom 9: 2. För erhållandet av dessa värden ur m_0 har jag bestämt trådarnas volym genom hydrostatisk vägning i toluol.

För dessa värdens tillförlitlighet fordras utom de å sid. 20 nämnda villkoren, att de använda mätningssinstrumenten verkligen angiva strömstyrka och potential-differens ³⁾ i absolut mått. Då jag ej övertygat mig härom, måste noggrannheten i de absoluta värdena bedömas ur en jämförelse med tidigare mätningar, och jag anför här följande värden på c_0 :

Silver (hårt)	0,0164	} Siemens
» (mjukt)	0,0147	
» (fint, 999,8 ‰)	0,0152 ⁴⁾	} Jaeger u. Diesselhorst ⁵⁾
» (hårt)	0,0158 ⁴⁾	
» (mjukt)	0,0148 ⁴⁾	} Fitzpatrick ⁶⁾

¹⁾ Detta överensstämmer med Cohns mätningar (a. a. s. 84).

²⁾ Vägnings utförd med okorrigerade vikter.

³⁾ Vid de relativa motståndsmätningarna synes temperaturens inflytande på instrumentens känslighet på grund av kompensation ej hava något inflytande.

⁴⁾ Reduc. till 0° från 18°.

⁵⁾ JAEGER U. DIESELHORST: Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst. III (1900).

⁶⁾ FITZPATRICK: Rep. o. Brit. Ass. Oxf. 1894, 131.

För ledningsmotståndets temperaturkoefficient anges av olika författare värden mellan 0,00341 och 0,00400 ¹⁾, bestämda för olika temperaturintervall.

Gleichmann ²⁾ finner ett lineärt sammanhang mellan temperatur och motstånd samt anger för γ värdena 0,0043675 och 0,0044097 för *samma* tråd.

I Tab. 15 äro trådarna i båda avdelningarna ordnade efter stigande värden på P_{50} , och det visar sig en otvetydig analogi i sammanhanget mellan dessa värden och den föregående behandlingen för de båda grupperna av försökstrådar. Olikheten i värdet på P_{50} för 10 och 9:2 sammanhänger därmed, att tråd 10 upphettats till 150° en kortare stund för lackeringen. Vidare framgår av Tab. 15, att sp. motståndet blir mindre i samma mån, som P_{50} växer. Vore därför sammanhanget mellan temperatur och ledningsmotstånd lineärt, skulle sålunda sp. motståndet för två olika behandlade trådar snart bliva lika, då temperaturen växer. Emellertid synes av värdena för γ , att motståndet växer snabbare med temperaturen ju mindre P_{50} är.

Beträffande termoelektromotoriska kraften E_{50-0} råder likaledes en utpräglad analogi mellan de båda grupperna av trådar, och variationerna i värdet äro här relativt mycket större än för P_{50} . Denna storhet är sålunda en vida känsligare mätare på det tillfälliga tillståndet hos en metall än P_{50} , och detta finner åtminstone delvis sin förklaring däri, att man här har att göra med en differensegenskap, i detta fall mellan koppar och silver. Emellertid framgår av Tab. 15 ingen enkel relation mellan E_{50-0} och P_{50} .

Tråd 12:2 har jag under ytterligare 4 timmar hållit uppvärmd till 200°. Jag har därefter uppmätt P_{50} , men icke kunnat konstatera någon ändring i värdet ³⁾. Här bör dessutom anmärkas, att trådarna 10 och 9:2 för känsln föreföllo mjukare än de övriga.

Jämför man dessa resultat med resultaten av tidigare undersökningar, finner man förklaringen därtill, att uppgifterna beträffande silvrets konstanter växla högst betydligt, vara den, att som enda kännetecken på olika former av metalliskt silver använts beteckningarna mjuk och hård eller valsad och utglödgad. Gäller det att skaffa material för ett mera ingående studium av det metalliska tillståndet, blir det nödvändigt att på något sätt söka definiera dessa modifikationer eller åtminstone finna något *normaltillstånd*, vilket alltid kan med noggrannhet reproduceras. Av en jämförelse mellan trådarna 9:3, 11 och 12:2 synes, att dessa preparat i elektriskt avseende ligga varandra nära, varav skulle framgå, att en långvarig uppvärmning till en lägre temperatur gör samma verkan som en kortvarig uppvärmning till högre temperatur, och för silvrets vidkommande skulle t. ex. storleken av förhållandet mellan γ och δ kunna begagnas som kriterium på den grad av stabilitet, en viss silvermodifikation har. Då jag icke varit i tillfälle att systematiskt underkasta mina försökstrådar uppvärmning

¹⁾ JAEGER u. DIESSELHORST: Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst. III (1900).

²⁾ GLEICHMANN: Diss. Marburg 1894.

³⁾ DEWAR och FLEMING: [Phil. Mag. (5) 36, 274 (1893)] konstatera, att för *rena*, omsorgsfullt utglödgade trådar av platina motståndet är entydigt bestämt av temperaturen.

till bestämda högre temperaturer, och då å andra sidan vissa tenn-silverlegeringar ej tåla högre uppvärmning än till 200° C., har jag för att få jämförbara resultat uppvärmt alla legeringar till denna temperatur under ungefär 4 timmar.

Ur Tab. 5 sid. 18 samt Tab. 14 a sid. 28 beräknas för termoelementet *Pb—Ag* E_{100-0} vara lika med 291 mikrovolt (jfr sid. 24), då Silver 12: 2 betraktas som normalsilver.

De viktigaste resultaten av undersökningarna angående inflytandet av mekanisk inverkan på metallers elektriska egenskaper äro följande: Lisell ¹⁾ har visat, att motståndet minskas vid allsidig kompression för alla av honom undersökta rena metaller. Vid sträckning av metalltrådar avtager, såsom särskilt Tomlinson ²⁾ visat, motståndet för alla metaller utom nickel och aluminium. Vid sträckning av tunna metallbleck erhöles en minskning i det specifika motståndet, då sträckningen skedde vinkelrätt mot strömriktningen. För silver fann Tomlinson dessa verkningar relativt stora. Vi anföra dessutom, att motståndet växer, då temperaturen höjes. Samtliga dessa fakta kunna sammanfattas i följande regel: Alla faktorer, som öka avståndet mellan molekylerna längs strömriktningen, öka motståndet och tvärtom. Av denna regel synes också skillnaden mellan hårt och mjukt silver kunna beskrivas. En nydragen tråd synes nämligen, efter vad man vet om den mekaniska efterverkan hos metaller, icke kunna uppfattas såsom isotrop, utan såsom permanent komprimerad vinkelrätt mot axeln och permanent sträckt längs axeln. Genom uppvärmning synes denna anisotropi kunna upphävas, eller med andra ord verkan av föregående mekanisk bearbetning kunna utplånas ³⁾.

¹⁾ LISSELL: Diss. Uppsala 1902.

²⁾ TOMLINSON: a. a.

³⁾ I ett arbete av Wagner, Über den Einfluss des hydrostatischen Druckes auf die Stellung der Metalle in der thermoelektrischen Spannungsreihe [Ann. d. Ph. (4) 27, 955 (1908)], visar förf., att de allra flesta metaller av tryck förskjutas åt det positiva hållet. Av Tab. 15 synes, att hårt silver står Antimonen närmare än det mjuka silvret. Vid Wagners undersökning är det emellertid icke blott den ena metallen, utan också lödstället eller en del därav, som blir utsatt för tryck. Hans resultat äro därför icke utan vidare jämförbara med mina.

Tenn-silverlegeringar.

Framställning och mekaniska egenskaper.

Vid framställning av legeringar med lägre silverhalt än 50 % har jag utgått från rent tenn och en legering innehållande 50 % silver. Denna legering förfärdigade jag på det sättet, att jag i en lerdigel nedsmälte en viss viktsmängd rent silver under pulver av träkol, varefter en lika viktsmängd tenn tillsattes i småportioner under omröring med en träpinne. Den smälta legeringen göts ut i en smal stång, varefter stycken av denna ånyo nedsmältes i digel under tillsats av beräknade mängder tenn. Vid dessa senare smältningar använde jag dels harts, dels fosforsalt såsom flussmedel.

Vid framställning av de silverrikare legeringarna har jag till det *smälta* silvret satt beräknade mängder tenn och använt fosforsalt eller borax som flussmedel.

För att erhålla gjutna trådar har jag begagnat en gjutform sådan som fig. 7 visar. Den består av två cirkulära täljstensplattor, som sammanhållas av järnbultar.

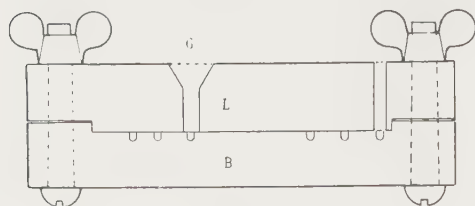


Fig. 7.

På bottenplattans övre sida är en spiralformig ränna utsvarvad. Den övre plattan *L* är genomborrad med två hål, vilka, då formen är hopskruvad, befinna sig mitt över rännans början och slut. Sedan formen uppvärmts till en temperatur nära legeringens smältpunkt, och luften utdrivits ur densamma därigenom, att ett stycke harts nedsläppts i

hålet *G*, hålles den smälta legeringen i götet *G*, varefter formen fick långsamt svalna. Dessa formar tåla en upphettning till c:a 800° C.

Emellertid har jag på detta sätt ej kunnat erhålla gjutna trådar av tenn-silverlegeringar med högre silverhalt än 50 %, enär dylika trådar åtminstone vid långsam avsvanling visat sig så spröda, att de ej kunnat tagas hela ur formen. För legeringar med högre silverhalt än 50 % har jag använt kolformar, förfärdigade av båglampskol, därigenom att »veken» urborrats till en längd av c:a 20 cm.

Sedan kolet placerats i en täljstensfot och omgivits med glödande träkol inom en asbestcylinder, har formen fyllts med den smälta legeringen och i regel fått långsamt svalna. Då av de på detta sätt erhållna stavarna den, som beräknats skola innehålla 60 % silver, visade sig så spröd, att den ej kunde tagas ut av formen hel, nödgades jag här åstadkomma hastig kylning genom att långsamt nedsänka den glödande kolformen i vatten. Denna legering visade sig emellertid, även på detta sätt framställd, mycket spröd.

Utom dessa gjutna preparat har jag skaffat mig valsade trådar genom att gjuta ut den smälta legeringen i ett göt av båglampskol till stänger av c:a 4 cm:s längd och 7 mm:s tjocklek, vilka därefter valsades till trådar med kvadratisk tvärsnitt. Avkylningen har här försiggått betydligt hastigare än vid framställningen av de gjutna trådarna. Såväl de gjutna som de valsade preparaten hava därefter lackerats och under ungefär 4 timmar hållits uppvärmda till 200° C. Legeringarna har jag numrerat efter den beräknade procenthalten av silver samt betecknat gjutna legeringar med *A* och valsade med *B*, så att t. ex. Leg. 40 *B* betecknar en utvalsad tråd med ungefär 40 % silverhalt.

Legeringarna upp till 30 % silverhalt avvika till sina yttre egenskaper helt obetydligt från rent tenn. Hos gjutna preparat kan man iakttaga det bekanta knastrandet vid böjning etc. Legering 40 *A* börjar visa sig mindre böjlig och redan 50 *A* låter böja sig endast obetydligt, innan den brister. Såsom förut nämnts, är 60 *A*, så som jag framställt den, mycket spröd, finkornig i brottet, samt förhåller sig vid filning ungefär som hård mässing. Leg. 70 *A*, gjuten och långsamt avkyld, står vad böjligheten beträffar mycket nära 50 *A*, men är betydligt hårdare än denna. Leg. 85 *A*, gjuten och långsamt avkyld, visade sig mycket böjlig. Valsade preparat har jag lyckats framställa endast av legeringarna upp t. o. m. 40 % samt från och med 85 % silverhalt. De valsade trådarna 85 *B* och 90 *B* visa en utomordentlig styvhet och hava tydligt framträdande kristallstruktur i brottytan. Vid mätningen av dessa legeringars termoelektriska krafter hava de valsade legeringarna överhuvudtaget givit mera konstanta resultat och visat sig äga en vida högre grad av homogenitet än de gjutna preparaten. Detta beror sannolikt därpå, att man vid valsningen åstadkommer en sönderkrossning av större kristaller samt i viss mån omröring. Möjligen kan vid de gjutna preparaten säkring hava förekommit och givit anledning till heterogenitet. Vid upphettning med fri bläster utpressas ur alla legeringar upp till 70 % silverhalt små fina droppar av lättsmältare legering än huvudmassan, ett tydligt bevis på deras heterogenitet. Legeringarna 85 och 90 visa ej detta fenomen, och denna deras homogenitet gör det möjligt att genom uppvärmning till högre temperatur göra dem mjukare, så att de tillåta förnyad valsning. Å sidd. 35–45 angivas resultaten av mätningarna beträffande termoelektriska kraften och ledningsmotståndets temperaturkoefficient. Till dessa tabeller bör anmärkas, att vid mätningen av termoelektriska kraften för legeringarna 60 *A*, 70 *A*, 80 *A*₂, 85 *A* och 85 *B* använts den anordning, som fig. 8 visar. Två långsträckta parallellipi-

pediska lådor av kopparbleck kommunicera genom ett glaströr. I detta fastsattes med en kork den metallstav, vars termoelektriska kraft skulle mätas, varefter kontaktklotsarne fastskruvades. Det ena kontaktstället avkyldes med is, och det andra

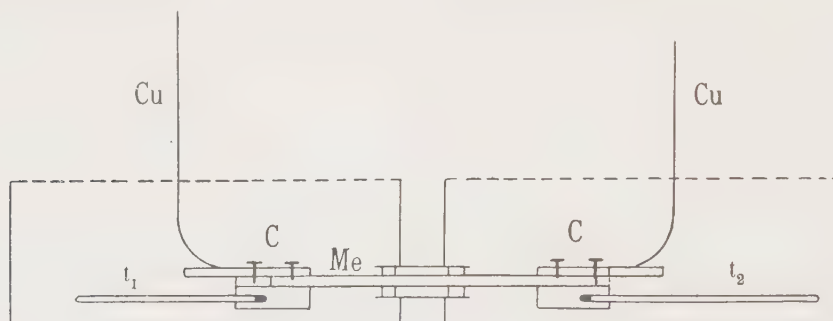


Fig. 8.

uppvärmdes med kokande vatten. Temperaturerna mättes här med andra termometrar än de å sid. 14 beskrivna. Denna anordning ger ej ens tillnärmelsevis så konstanta temperaturer som de vid övriga mätningar använda termostaterna. Dessutom visade sig de undersökta stavarne av ovannämnda legeringar fysikaliskt heterogena, såsom synes av de termoelektriska mätningarna. Tabb. 35 och 36 innehålla en sammanfattning av de övriga.

Analys.

Analyserna av legeringarna hava utförts av Kand. B. Psilanderhielm å härvarande Medicinskt-Kemiska Laboratorium på det sättet, att 0,5—1 gr. av legeringen på vattenbad behandlats med konc. salpetersyra under 1—4 timmar, varvid tennet överförts till olöslig metatennsyra och silvret gått i lösning. Sedan överskjutande salpetersyra fått avdunsta, har tennsyran frånfiltrerats och vägts, varefter silvret i filtratet på vanligt sätt bestämts i form av silverklorid. Vid analysen har det visat sig, att legeringarna utan undantag angripits lättare av salpetersyran ju större silverhalten varit.

Utgångsmaterialierna hava varit rent silver (puriss. pro anal.) i form av bleck samt rent tenn (puriss. pro anal.), bådadera från E. Merck, Darmstadt. Någon särskild prövning av dessa metallers renhetsgrad har ej företagits. Dock giva analyserna en indirekt sådan, därigenom att summan av procenttalen för silver och tenn vid de flesta analyser med högst 0,05 % avvikit från 100. Då det visat sig, att strukturheterogenitet inverkar starkt på mätningarna, har jag ej angivit analysresultaten med större noggrannhet än 0,1 %.

Tenn 1. Gjuten.

Tab. 16 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 800 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M(E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	153,03	152,72	153,03	153,10
b	0,12	50,0	49,88	50,1	153,66	153,35		
a	0,12	99,92	99,80	99,9	322,89	323,21	323,54	323,40
b	0,14	99,98	99,84	99,9	323,54	323,86		
a	0,12	150,51	150,39	149,8	510,67	511,36	510,81	510,87
b	0,12	150,60	150,48	149,9	509,92	510,26		

$$\alpha = 2,8901. \quad \beta = 0,003438.$$

Tab. 16 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 3 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	8029	8029		
50,0	50,1	9876	9856	1827	9860
99,8	99,8	11724	11747	3718	11739
150,7	150,0	13660	13660	5631	13664

$$m_0 = 0,034 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,0045027. \quad \delta = 0,000001176. \quad P_z = 46,20. \quad P_a = 31,60.$$

Tenn 3. Valsad.

Tab. 17 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 800 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M(E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	151,93	151,63	151,80	152,52
b	0,12	50,0	49,88	50,1	152,27	151,97		
a	0,12	99,90	99,78	99,9	322,32	322,64	323,29	321,82
b	0,12	99,96	99,84	99,9	323,62	323,94		
a	0,12	150,72	150,60	150,0	508,62	508,62	507,24	507,97
b	0,12	150,52	150,40	149,8	505,18	505,86		

$$\alpha = 2,8825. \quad \beta = 0,003360.$$

Tab. 17 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 5 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	10014	10014		
50,0	50,1	12246	12222	2208	12246
99,9	99,9	14644	14659	4645	14612
149,95	149,25	17004	17089	7075	17113

$$m_0 = 0,048 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,0043225. \quad \delta = 0,000002688. \quad P_z = 45,91. \quad P_a = 31,48.$$

Leg. 3 A₂.*Analys: 97,5 % Sn; 2,4 % Ag.*

Tab. 18 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 700 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,16	50,0	49,84	50,0	150,8	150,8	153,5	154,3
b	0,12	50,0	49,88	50,1	156,5	156,2		
a	0,12	99,71	99,59	99,7	326,4	327,4	324,7	323,1
b	0,12	99,73	99,61	99,7	320,9	321,9		
a	0,12	150,50	150,38	149,8	500,2	500,9	505,8	506,6
b	0,12	150,55	150,43	149,8	509,9	510,6		

$\alpha = 2,9398.$

$\beta = 0,002916.$

Tab. 18 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff. shunt 2 ohm.*

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	9135	9135		
50,0	50,1	11177	11155	2020	11160
99,8	99,8	13312	13339	4204	13330
150,1	149,4	15578	15640	6505	15645

$m_0 = 0,016 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004274. \quad \delta = 0,000003179. \quad P_z = 45,92. \quad P_a = 31,47.$

Leg. 3 B₂.*Analys: 97,6 % Sn; 2,4 % Ag.*

Tab. 19 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 400 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	101,10	100,90	100,80	100,82
b	0,12	50,0	49,88	50,1	100,90	100,70		
a	0,12	99,75	99,63	99,7	213,72	214,36	214,10	214,05
b	0,12	99,75	99,63	99,7	213,20	213,84		
a	0,12	150,65	150,53	149,9	340,07	340,30	339,67	339,69
b	0,12	150,74	150,62	150,0	339,03	339,03		

$\alpha = 1,8924.$

$\beta = 0,002482.$

Tab. 19 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff. shunt 4 ohm.*

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	10138	10138		
50,0	50,1	12353	12328	2190	12338
99,6	99,6	14655	14713	4575	14693
150,4	149,7	17157	17191	7053	17201

$m_0 = 0,020 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004188. \quad \delta = 0,00000304. \quad P_z = 44,92. \quad P_a = 30,99.$

Leg. 10 A.

Analys: 90,2 % Sn; 9,8 % Ag.Tab. 20 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 500 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,14	50,00	49,86	50,1	140,28	140,00		
b	0,12	50,00	49,88	50,1	140,53	140,25	140,1	140,0
a	0,14	99,82	99,68	99,8	294,78	295,37		
b	0,12	99,81	99,69	99,8	292,69	293,29	294,3	294,5
a	0,14	150,79	150,65	150,1	463,97	463,66		
b	0,12	150,80	150,68	150,1	463,67	463,36	463,5	463,4

$$\alpha = 2,6556. \quad \beta = 0,002892.$$

Tab. 20 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 3 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	6579	6579		
50,0	50,1	8035	8019	1440	8024
99,75	99,75	9557	9581	3002	9571
150,1	149,4	11170	11215	4636	11220

$$m_0 = 0,019 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004238. \quad \delta = 0,000003101. \quad P_z = 45,49. \quad P_a = 31,27.$$

Leg. 10 B₂.*Analys:* 90,2 % Sn; 9,7 % Ag.Tab. 21 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 500 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	132,49	132,23		
b	0,12	50,0	49,88	50,1	132,67	132,41	132,32	132,37
a	0,12	99,94	99,82	99,9	280,73	281,01		
b	0,12	99,97	99,85	100,0	281,29	281,29	281,15	281,05
a	0,12	150,60	150,48	149,9	445,61	445,91		
b	0,12	150,64	150,52	149,9	445,72	446,02	445,97	446,02

$$\alpha = 2,4844. \quad \beta = 0,003260.$$

Tab. 21 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 7 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	7696	7696		
50,0	50,1	9385	9366	1670	9369
99,9	99,9	11127	11138	3442	11132
150,3	149,6	12949	12984	5288	12987

$$m_0 = 0,050 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004229. \quad \delta = 0,000002360. \quad P_z = 44,65. \quad P_a = 30,87.$$

Leg. 20 A.

Analys: 81,9 % Sn; 18,0 % Ag.

Tab. 22 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 500 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	131,2	130,9	131,7	130,1
b	0,12	50,0	49,88	50,1	132,7	132,4		
a	0,12	99,66	99,54	99,6	267,9	269,0	269,8	273,1
b	0,12	99,65	99,53	99,6	269,5	270,6		
a	0,12	150,1	149,98	149,4	425,6	427,3	430,7	429,1
b	0,12	150,0	149,88	149,3	432,0	434,0		

$\alpha = 2,4716.$

$\beta = 0,002592.$

Tab. 22 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 3 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	6621	6621		
50,0	50,1	8062	8046	1425	8055
99,9	99,9	9582	9592	2971	9574
150,9	150,2	11185	11170	4549	11179

$m_0 = 0,019 \text{ ohm.}$

$\gamma = 0,004202.$

$\delta = 0,000002579.$

$P_z = 44,60.$

$P_a = 30,85.$

Leg. 20 B₂.*Analys:* 80,7 % Sn; 19,3 % Ag.

Tab. 23 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 400 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	122,20	121,96	121,83	121,95
b	0,12	50,0	49,88	50,1	121,94	121,70		
a	0,12	99,91	99,79	99,9	258,21	258,47	258,20	257,95
b	0,12	99,93	99,81	99,9	257,67	257,93		
a	0,12	150,55	150,43	149,8	406,86	407,40	407,88	408,00
b	0,12	150,65	150,53	149,9	408,08	408,35		

$\alpha = 2,2986.$

$\beta = 0,002510.$

Tab. 23 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 7 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	6638	6638		
50,0	50,1	8063	8047	1409	8043
100,2	100,2	9535	9516	2878	9525
150,5	149,8	11073	11088	4450	11084

$m_0 = 0,043 \text{ ohm.}$

$\gamma = 0,004116.$

$\delta = 0,000002326.$

$P_z = 43,49.$

$P_a = 30,31.$

Leg. 30 A.

Analys: 69,6 % Sn; 30,2 % Ag.

Tab. 24 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 500 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M(E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	118,29	118,05	117,29	117,98
b	0,12	50,0	49,88	50,1	116,75	116,52		
a	0,12	99,67	99,55	99,7	244,76	245,49	245,91	244,52
b	0,12	99,72	99,60	99,7	245,58	246,32		
a	0,12	150,38	150,26	149,7	378,04	378,80	378,98	379,62
b	0,12	150,49	150,37	149,8	378,55	379,05		

$$\alpha = 2,2741. \quad \beta = 0,001712.$$

Tab. 24 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 2 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	7900	7900		
50,0	50,1	9575	9556	1656	9560
99,7	99,7	11294	11328	3428	11320
150,3	149,6	13141	13176	5276	13180

$$m_0 = 0,015 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004076. \quad \delta = 0,000002532. \quad P_z = 43,29. \quad P_a = 30,21.$$

Leg. 30 B.

Analys: 69,9 % Sn; 30,1 % Ag.

Tab. 25 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 500 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M(E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	110,76	110,54	110,75	110,77
b	0,12	50,0	49,88	50,1	111,17	110,95		
a	0,12	99,68	99,56	99,7	231,06	231,75	232,72	232,67
b	0,12	99,64	99,52	99,6	232,76	233,69		
a	0,12	150,54	150,42	149,8	363,72	364,20	365,68	365,70
b	0,12	150,56	150,44	149,8	366,68	367,16		

$$\alpha = 2,1042. \quad \beta = 0,002226.$$

Tab. 25 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 5 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	11125	11125		
50,0	50,1	13483	13456	2331	13457
99,7	99,7	15829	15876	4751	15875
150,2	149,5	18319	18380	7255	18381

$$m_0 = 0,053 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,004113. \quad \delta = 0,000001564. \quad P_z = 42,70. \quad P_a = 29,92.$$

Leg. 40 A.

Analys: 60,4 % Sn; 39,7 % Ag.Tab. 26 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 400 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	98,82	98,62	98,54	98,74
b	0,12	50,0	49,88	50,1	98,65	98,45		
a	0,12	99,81	99,69	99,8	205,30	205,71	205,46	205,07
b	0,12	99,76	99,64	99,7	204,59	205,20		
a	0,12	150,20	150,08	149,5	318,62	319,68	318,80	319,00
b	0,12	150,18	150,07	149,5	316,86	317,92		

$$\alpha = 1,8988. \quad \beta = 0,001519.$$

Tab. 26 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 2 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	8050	8050		
50,0	50,1	9699	9680	1630	9676
100,1	100,1	11377	11366	3316	11374
150,4	149,7	13121	13147	5097	13143

$$m_0 = 0,016 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,003951. \quad \delta = 0,000001779. \quad P_z = 41,29. \quad P_a = 29,22.$$

Leg. 40 B.

Analys: 59,1 % Sn; 40,8 % Ag.Tab. 27 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 400 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,12	50,0	49,88	50,1	94,62	94,43	94,46	94,87
b	0,12	50,0	49,88	50,1	94,68	94,49		
a	0,12	99,79	99,67	99,8	198,96	199,36	199,50	198,68
b	0,12	99,74	99,62	99,7	198,04	199,63		
a	0,12	150,35	150,23	149,6	310,53	311,36	311,00	311,42
b	0,12	150,39	150,27	149,7	310,01	310,63		

$$\alpha = 1,8081. \quad \beta = 0,001786.$$

Tab. 27 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 5 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	7914	7914		
50,0	50,1	9486	9467	1553	9485
99,6	99,6	11112	11156	3242	11118
151,0	150,3	12819	12793	4879	12811

$$m_0 = 0,038 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,003895. \quad \delta = 0,000001537. \quad P_z = 40,49. \quad P_a = 28,82.$$

Leg. 50 A.

Analys: 50,7 % Sn; 49,4 % Ag.

Tab. 28 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 200 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$	E ber.
a	0,34	50,0	49,66	49,9	75,47	75,62	75,44	75,12
b	0,30	50,0	49,70	49,9	75,11	75,26		
a	0,32	99,75	99,43	99,5	153,67	154,44	154,24	154,86
b	0,30	99,82	99,52	99,6	153,42	154,03		
a	0,30	150,41	150,11	149,5	238,27	239,06	239,52	239,21
b	0,32	150,22	149,90	149,3	238,87	239,98		

$$\alpha = 1,4565. \quad \beta = 0,000922.$$

Tab. 28 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff.* shunt 2 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	5150	5150		
50,0	50,1	6126	6114	964	6114
99,9	99,9	7118	7125	1975	7124
150,1	149,4	8147	8180	3030	8180

$$m_0 = 0,010 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,003856. \quad \delta = 0,000001779. \quad P_z = 38,34. \quad P_a = 27,71.$$

Leg. 60 A.

Analys: 40,3 % Sn; 59,7 % Ag.

Tab. 29 a.

Termoelektrisk kraft. shunt 100 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$
a	0,10	99,2	99,1	99,4	89,84	90,88	90,58
b	0,12	99,2	99,1	99,4	90,24	90,78	

Tab. 29 b. *Ledningsmotst. temp.-coeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	827	827		
50,0	50,1	957	955	128	955
99,9	99,9	1086	1087	260	1087
150,2	149,5	1217	1221	394	1221

$$m_0 = 0,001 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,003061. \quad \delta = 0,000000774. \quad P_z = 31,4. \quad P_a = 23,9.$$

Leg. 70 A.

Analys: 29,4 % Sn; 70,6 % Ag.Tab. 30 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 50 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$
a	0,15	99,7	99,6	99,9	27,19	27,22	26,68
b	0,40	99,5	99,1	99,4	25,83	26,04	

Tab. 30 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	3026	3026		
50,0	50,1	3409	3402	376	3402
100,0	100,0	3781	3781	755	3781
150,7	150,0	4164	4164	1138	4164

$$m_0 = 0,008 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,002473. \quad \delta = 0,000000225. \quad P_z = 24,96. \quad P_a = 19,97.$$

Leg. 80 A₂.*Analys:* 19,5 % Sn; 80,5 % Ag.Tab. 31 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 200 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	t_2-t_1 obs.	t_2-t_1 korr.	E obs.	E red.	$M (E)$
a	0,1	99,2	99,1	99,4	161,42	162,39	160,1
b	0,1	99,4	99,3	99,6	157,27	157,90	

Tab. 31 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	13565	13565		
50,0	50,1	13745	13718	153	13720
100,0	100,0	13941	13941	376	13937
150,1	149,4	14158	14214	649	14216

$$m_0 = 0,014 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,0001828. \quad \delta = 0,000000912. \quad P_z = 2,74. \quad P_a = 2,67.$$

Leg. 85 A.

Analys: 17,2 % Sn; 82,9 % Ag.Tab. 32 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 200 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$
a	0,1	98,7	98,6	98,9	161,7	163,5	163,8
b	0,2	99,0	98,8	99,1	162,6	164,1	

Tab. 32 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 2 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	3500	3500		
50,0	50,1	3552	3545	45	3547
100,0	100,0	3595	3595	95	3592
150,8	150,1	3635	3633	133	3635

$$m_0 = 0,007 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,000272. \quad \delta = -0,000000103. \quad P_z = 2,62. \quad P_a = 2,56.$$

Leg. 85 B.

Analys: 14,7 % Sn; 85,3 % Ag.Tab. 33 a. *Termoelektrisk kraft.* shunt 200 ohm.

	t_1 obs.	t_2 obs.	$t_2 - t_1$ obs.	$t_2 - t_1$ korr.	E obs.	E red.	$M (E)$
a	0,15	99,7	99,55	99,9	141,2	141,3	142,1
b	0,12	99,7	99,58	99,9	142,7	142,8	

Tab. 33 b. *Ledningsmotst. temp.-koeff.* shunt 1 ohm.

t obs.	t korr.	m obs.	m red.	Δm	m ber.
0	0	9631	9631		
50,0	50,1	9760	9740	109	9743
99,9	99,9	9857	9867	236	9864
150,4	149,7	9971	9991	361	9993

$$m_0 = 0,028 \text{ ohm.} \quad \gamma = 0,000222. \quad \delta = 0,000000191. \quad P_z = 2,42. \quad P_a = 2,36.$$

[illegible]

卷一百一十五

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tab. 36. *Ledningsmotståndets temperaturkoefficient för tenn-silverlegeringar.*

Lag.	% Ag	% Sn	m_0	$\gamma \cdot 10^3$	$\delta \cdot 10^6$	P_a
Tenn 1		100,0	0,064	4,50	1,18	31,6
3 A ₁	2,4	97,5	0,038	4,27	3,18	31,5
10 A	9,8	90,2	0,018	4,24	3,16	31,3
20 A	19,7	80,3	0,010	4,20	2,58	30,8
30 A	30,2	69,8	0,011	4,06	2,53	30,2
40 A	39,7	60,3	0,018	3,85	1,78	29,2
50 A	49,4	50,6	0,011	3,68	1,78	27,7
60 A	59,7	40,3	0,007	3,06	0,77	23,8
70 A	70,3	29,7	0,003	2,37	0,23	20,0
80 A ₁	80,1	19,9	0,014	0,78	0,91	2,7
85 A	82,8	17,2	0,007	0,27	0,10	2,9
Tenn 3		100,0	0,048	4,32	2,48	31,5
3 B ₁	2,4	97,5	0,020	4,18	3,14	31,0
10 B ₁	9,7	90,2	0,009	4,23	2,36	30,8
20 B ₁	19,8	80,2	0,043	4,12	2,33	30,3
30 B	30,1	69,9	0,053	4,11	1,56	29,8
40 B	40,2	59,8	0,022	3,86	1,34	28,5
85 B	85,7	14,3	0,026	0,22	0,18	2,4
90 B	92,1	7,9	0,001	0,26	0,58	3,1
Silver 12:2	100,0		0,006	4,51	0,84	29,1

Diskussion av resultaten.

Av nu anförda tabeller framgår beträffande termoelektromotoriska kraften mellan dessa legeringar och koppar, att den följer Avenarius' formel med tillfredsställande noggrannhet. För förhållandet mellan α och β synes det icke råda någon enkel lag. Härvid bör det emellertid anmärkas, att detta förhållande är mycket känsligt för ett mättningsfel av det skäl, att elektromotoriska krafterna endast uppmätts för tre temperaturintervall. Överallt har β samma tecken som α . Då jag icke bestämt α och β för alla legeringarna, har jag ej grafiskt framställt dessa. Storheten E_{100-0} har jag däremot bestämt för samtliga legeringar, och dessa värden återfinnas i fig. 9. Värdena för valsade preparat har jag utmärkt med en o. Av denna fig. synes, att värdena för A- och B-trådar såväl för rent tenn som för legeringar med 10 till 40 % silver visa någorlunda god inbördes överensstämmelse, under det att legeringarna 3 och 85 giva olika värden, allt eftersom de äro gjutna eller valsade. Av tabellerna synes vid jämförelse mellan a- och b-värdena, att de valsade trådarna i allmänhet äro mera homogena än de gjutna. Särskilt leg. 80 A₁ visar sig avsevärt heterogen.

Denna heterogenitet kan möjligen i någon mån bero på mekanisk eller termisk efterverkan. För jämförelses skull anför jag emellertid här i fig. 10 det jämviktsdiagram, i vilket Petrenko¹⁾ sammanfattat resultaten av tenn-silverlegeringarnas ter-

¹⁾ PETRENKO: Zsch. f. anorg. Ch. 53, 210 (1907).

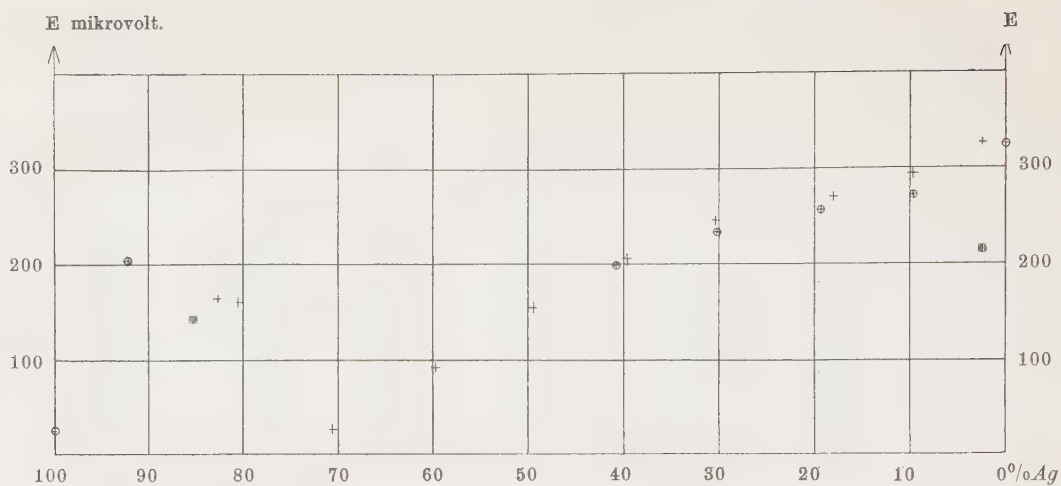


Fig. 9. Termoelektromotorisk kraft för tenn-silverlegeringar.

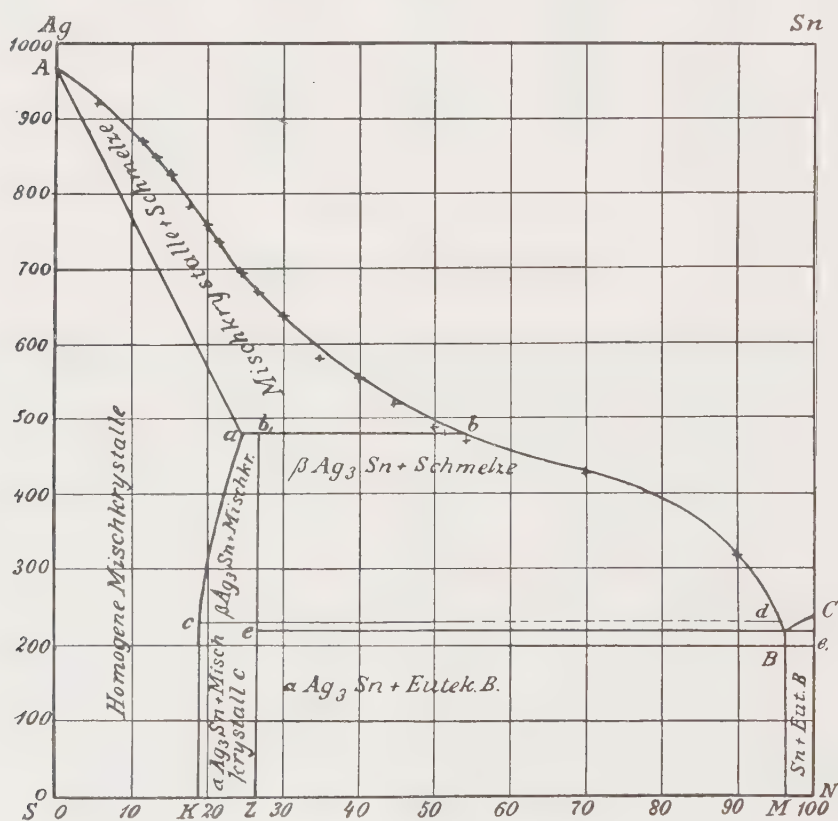


Fig. 10. Jämviktsdiagram för tenn-silverlegeringar.

miska analys. Av denna framgår, att leg. 3 A_2 och leg. 3 B_2 falla mellan M och N d. v. s. den stelnade smältan innehåller rent tenn och eutektikum B . Värdet på E_{100-0} för leg. 3 A_2 sammanfaller mycket nära med motsvarande värde för rent tenn.

Om den mikroskopiska analysen av dessa legeringar nämner Petrenko intet. Det förefaller emellertid ej orimligt, att sägning här kan förekomma på grund av olikheten i sp. vikt mellan Ag_3Sn och Sn , och att detta skulle vara förklaringen till denna olikhet. För leg. 3 B_2 kan en dylik heterogenitet i blandningen genom valsningen hava blivit upphävd (se sid. 33). En jämförande undersökning härav mellan tenn-silverlegeringar och motsvarande bly-silverlegeringar är redan påbörjad. De fyra paren av legeringar med 10–40 % silver falla alla inom området bB på fig. 10. Dessa bestå således av $\alpha Ag_3Sn +$ eutektikum B .

Resultaten av Petrenkos mikroskopiska undersökning av tenn-silverlegeringar vill jag här i korthet referera. Legeringar med 3,5 till 48 % Ag äro kvalitativt oberoende av avkylningshastigheten samt innehålla 3 (2) strukturelement. Legeringar med 48 till 73 % Ag visa efter hastig avkylning tre strukturelement, vid långsam två eller ett. Legeringar med 73 till 83 % Ag innehålla likaledes tre strukturelement, om de få svalna hastigt, men endast två efter långsam avkylning och kunna efter plötslig avkylning från 490° få med endast ett strukturelement. I legeringar med 83 till 95 % Ag finnas i regel två strukturelement, men om legeringarna få svalna mycket långsamt (leg. 85 A)¹⁾, kunna de erhållas fullt homogena, och på slipprov synas då större eller mindre polygoner. Till denna sistnämnda typ höra slutligen legeringarna med 95 till 100 % Ag .

Av dessa förhållanden förklaras lätt å ena sidan överensstämmelsen mellan värdena på E_{100-0} för leg. 10—leg. 40 och å andra sidan diskontinuiteten i motsvarande storhet för legeringar med högre silverhalt. Det bör således sannolikt erhållas flera olika kurvor inom dessa områden, och då jag tillsvidare icke haft lämplig ugn för undersökningen av avkylningshastighetens betydelse för dessa legeringar, har jag avstått från att söka konstruera någon kurva för E_{100-0} . För jämförelses skull anför jag i fig. 11 den kurva, som enligt Puschins²⁾ undersökningar återger tenn-silverlegeringarnas elektrokemiska potential. Såsom av denna synes, äro värdena mellan 70 och 100 atomprocent silver tämligen växlande. För övrigt kan hänvisas till analogien mellan denna grupp av tenn-silverlegeringar och $Al-Zn$ -legeringarna, vilkas ledningsmotstånd undersökts av Sturm³⁾. Dessa visa sig i synnerligen hög grad beroende av sin termiska förbehandling, och Sturm har i sitt diagram konstruerat ej mindre än fem delvis hypotetiska kurvor, vilka skulle ange sammanhanget mellan deras sp. ledningsmotstånd och procentiska sammansättning.

Av fig. 9 framgår emellertid alldeles otvetydigt, att E_{100-0} för tenn-silverlegeringarna har ett minimum vid c:a 70 % silver. För ytterligare jämförelse hänvisas till Maeys⁴⁾ kurva för tenn-silverlegeringarnas sp. volym. Denna består av två räta linjer, som träffas vid omkr. 70 % Ag . Kontraktionen uppgår här till c:a 5 %.

¹⁾ se sid. 33.

²⁾ PUSCHIN: Zschr. f. anorg. Ch. 56, 21 (1908).

³⁾ STURM: Diss. Rostock 1904.

⁴⁾ MAEY: Zschr. f. physik. Ch. 38, 297 (1901).

I tab. 36 finnas värdena för γ och δ samt P_a för samma legeringar. Även här äro såväl γ som δ av samma tecken. För det valsade tennet är förhållandet mellan δ och γ ungefär dubbelt så stort som för det gjutna, ehuru P_a för båda preparaten är mycket nära detsamma. Skulle denna olikhet bero på ren mekanisk efterverkan, borde man av jämförelsen med resultaten beträffande silvret ¹⁾ draga den slutsatsen, att efterverkan ej hunnit tillräckligt utplånas under den 4 timmar

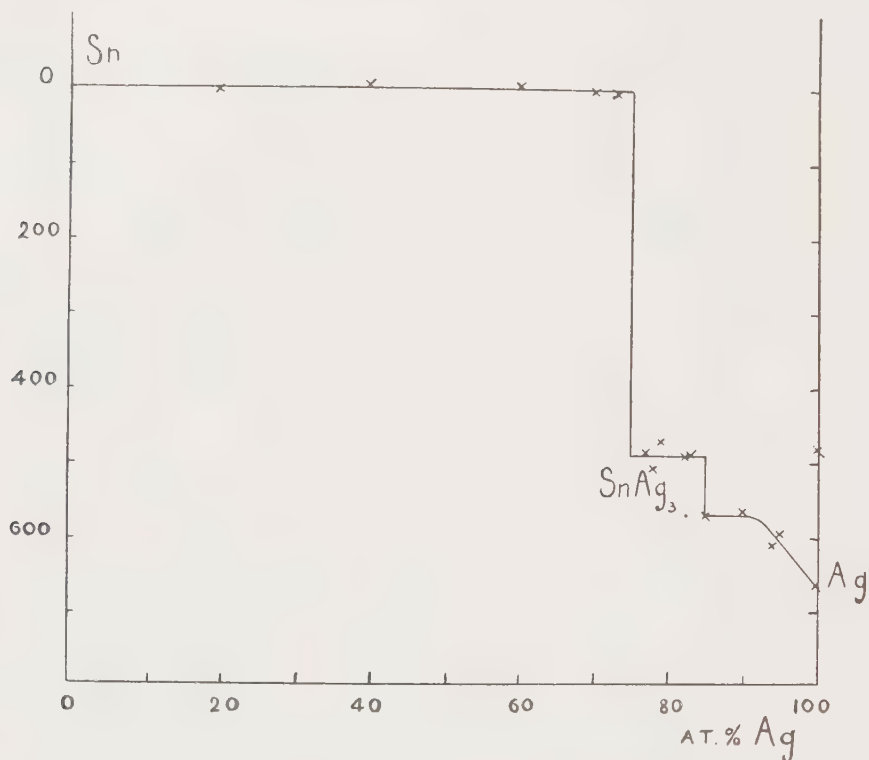


Fig. 11. Tenn-silverlegeringarnas elektrokemiska potential.

långa uppvärmningen till 200° C. Härvid bör dock ihågkommas, att det gjutna tennet skiljer sig från det valsade i vida högre grad än de olika silvertrådarna, nämligen med avseende på kristallstrukturen. För legeringarna är däremot δ genomgående mindre för de valsade preparaten än för de gjutna.

Sammanhanget mellan värdet på P_a och legeringarnas procentiska sammansättning finnes grafiskt framställt i fig. 12. Liksom i fig. 9 äro B -värdena utmärkta med en o. Analogt med E_{100-0} visar sig P_a för legeringarna 3 B_2 och 10 B_2 ligga något under värdena på samma storhet för de gjutna preparaten. Vid konstruktionen av kurvan i fig. 12 har jag icke tagit hänsyn till leg. 60 A, då denna vid framställningen blivit plötsligt kyld med vatten. Enligt fig. 10 bör denna legering

¹⁾ Se sid. 30.

sannolikt innehålla β Ag_3Sn + eutektikum B samt »*Mischkrystalle*», under det att legeringarna 10 till och med 50 A samt 70 A utgöras av α Ag_3Sn + eutektikum B . Av fig. 12 framgår, att storheten P_a avtager nästan lineärt från det rena tennet till och med leg. 50 A . Den faller därefter först långsamt, sedan hastigt. Vid omkring 74 % silver har den en inflexionspunkt samt vid 85 ett minimum. Inflexionspunkten synes motsvara föreningen Ag_3Sn , och kurvans minimiområde innefattar de legeringar,

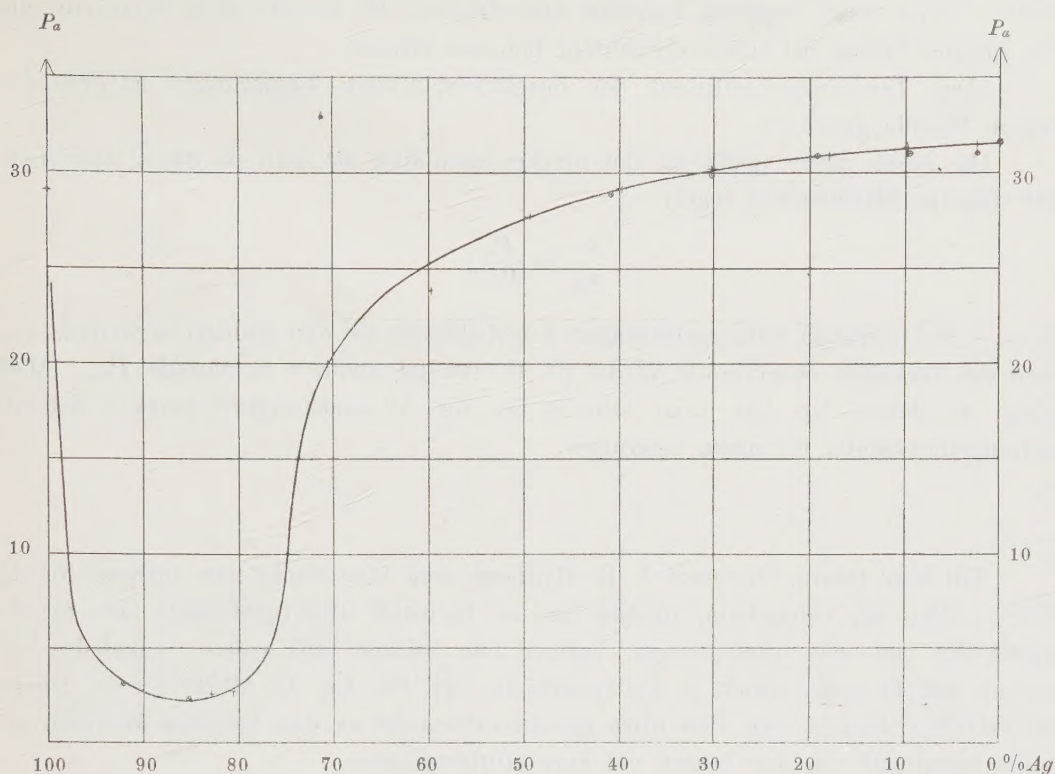


Fig. 12. Procentisk minskning av ledningsförmågan hos tenn-silverlegeringarna vid uppvärmning från 0 till 100° C.

vilka enligt fig. 10 utgöras av fasta lösningar. Guertler ¹⁾ uttalar den förmodan, att denna kurva skulle bestå av två grenar, en rät linje från Sn till Ag_3Sn och sedan en båge nedåt. Ur Matthiessen och Vogts bestämningar för legeringar med 3,48 och 24,49 vol.-% Ag , vilka båda falla inom det förstnämnda området, beräknar Guertler under denna förutsättning värdet 26,8 på P_a för Ag_3Sn genom extrapolation. Enligt mina mätningar skulle däremot P_a för Ag_3Sn (73,2 % Ag) vara c:a 16,5 ²⁾.

¹⁾ a. a. sid. 81.

²⁾ För dessa båda legeringar med 3,48 resp. 24,49 vol.-% Ag , liksom för det rena tennet, erhållas ur fig. 12 större värden på P_a än dem Matthiessen och Vogt fått. Mina värden på P_a för rent tenn, 31,5 och 31,6, överensstämmer närmast med det tal, Guertler (a. a. s. 63) anför såsom erhållet av Dewar och Fleming, nämligen 31,1. Detta motsvarar för P_z värdet 45,2, under det att Dewar och Fleming [Phil. Mag. (5) 36, 292 (1893)] själva ange $P_z = 44,0$.

Kvalitativt bekräftar däremot kurvan i fig. 12 Guertlers ¹⁾ satser om ledningsförmågens temperaturkoefficient för legeringar: »Die Kurven des Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit binärer Legierungen, die eine ununterbrochene Reihe von Mischkrystallen bilden, fallen von den Werten der reinen Komponenten (här Ag och Ag_3Sn) zuerst sehr steil ab, und haben gegen die Mitte zu ein sehr flaches Minimum, derart, dass der Zusatz einer gewissen Menge eines zweiten Metalls zum ersten zuerst eine ungleich stärkere Erniedrigung der Leitfähigkeit hervorruft als der gleiche Zusatz bei schon erreichtem höheren Gehalt.»

»Der Temperaturkoeffizient der mischkrystallfreien Legierungen ist dem der reinen Metalle gleich» ²⁾.

Då dessa satser gälla, är det mycket sannolikt, att man på dessa legeringar får tillämpa Matthiessens regel:

$$\frac{\kappa}{\kappa_m} = \frac{P_a}{P_{am}};$$

d. v. s. den verkliga ledningsförmågan κ förhåller sig till den additivt beräknade κ_m , som det verkligen observerade värdet på P_a till det additivt beräknade P_{am} . Med hjälp av denna lag kan man sålunda av fig. 12 skattningsvis beräkna det sp. ledningsmotståndet för dessa legeringar.

Till min lärare, Professor J. R. Rydberg, som först väckt mitt intresse för de frågor, vilka här behandlats, anhåller jag att få uttala mitt hjärtligaste tack för de värdefulla råd och upplysningar, varmed han främjat mitt arbete. Likaledes ber jag att här få tacka Kand. B. Psilanderhielm och Fil. Lic. B. Möller för den hjälp, de välvilligt lämnat mig, den förre genom utförandet av den kemiska analysen av mina legeringar och den senare vid korrekturläsningen.

¹⁾ a. a. sidd. 76 o. 65.

²⁾ Guertler uttrycker i anf. arb. städse legeringarnas sammansättning i vol.-%.

